

منشورات مجمع اللغة العربية الاردني

الجيولوجيا العامة

تأليف

روبرت ج. فوستر

ترجم هذا الكتاب وطبع بنفقة مجمع اللغة العربية الاردني
في نطاق مشروعه لتعريب التعليم العلمي الجامعي

ترجمة الاساتذة التالية اسماؤهم

(من قسم الجيولوجيا في الجامعة الاردنية)

الدكتور عبدالقادر عابد

الدكتور شاکر رسمي المقبل

الدكتور سعد حسن الباشا

اشرف على الترجمة وراجعها الدكتور عبدالقادر عابد

(حقوق الطبع والترجمة محفوظة لمجمع اللغة العربية الاردني)

*GENERAL
GEOLOGY*

Robert J. Foster

محتويات الكتاب

الجزء الأول
تركيب القشرة
المعادن والصخور

٢١ - ٤	الفصل الأول — مقدمة

٤	لماذا ندرس الارض
٨	مجال الجيولوجيا
٩	الطرق الجيولوجية
١٧	اتجاهات حديثة
١٩	هذا الكتاب
٢١	مراجع اضافية

٢٨ - ٢٢	الفصل الثاني — الذرات والعناصر والمعادن

٢٤	توافر العناصر
٢٨	تعريفات
٢٩	الاكسجين والسيليكون، وحدات البناء في المعادن المكونة للصخور
٣٢	البنية الذرية
٣٣	الترابط
٣٩	النشاط الاشعاعي الطبيعي
٤٣	النشاط الاشعاعي في الجيولوجيا
٥١	النيترونات - الاشعة الكونية

٥٥	عائلة الفلسبار
٥٥	الفلسبار الالاجيوكلازني
٥٥	الفلسبار البوتاسي
٥٧	عائلة الاوليفين
٥٧	عائلة البايروكسين
٥٧	عائلة الامفيبول
٥٨	عائلة المايكا
٥٨	كوارتز
٥٩	التعرف على المعادن
٥٩	اللون
٥٩	المخدش
٦٠	البريق
٦١	الشكل البلوري
٦١	التشقق والمكسر
٦٦	القساوة
٦٧	الكثافة النسبية (الوزن النوعي)
٦٨	الطعم والذوبان
٧٧	اسئلة
٧٨	مراجع اضافية

٧٠ - ١٢٩ الفصل الثالث — الصخور النارية والبراكين

٨٢	الدورة الصخرية
٨٣	التبلور
٨٨	التصنيف
٨٩	النسخ وانماط الوجود
٩٦	البراكين
١٠٦	المخروط التجمع
١١٣	الاصل والتوضع
١١٨	توضع الباثوليت
١٢٠	عروق الكوارتز والبجماتائيت
١٢٤	التعرف والتفسير
١٢٧	اسئلة
١٢٩	مراجع اضافية

١٣٠ - ١٧٣	الفصل الرابع — التجوية والصخور الرسوبية
١٣٢	التجوية
١٤٠	التربة
١٤٦	التصخر
١٤٧	التصنيف والتشكل
١٥٦	ملامح الصخور الرسوبية
١٦٢	الترسيب
١٦٤	الرسوبيات الحطامية
١٧٠	اسئلة
١٧٢	مراجع اضافية
١٧٤ - ١٩٥	الفصل الخامس — الصخور المتحولة
١٧٦	عوامل التحول
١٧٨	انواع التحول
١٧٨	تشكل الصخور المتحولة والتعرف عليها
١٧٩	الصخور المتحولة غير المتورقة
١٨٢	الصخور المتحولة المتورقة
١٨٧	التحول الديناميكي
١٨٧	التفسير
١٨٨	درجات التحول
١٨٩	مسائل
١٩٣	اسئلة
١٩٥	مراجع اضافية
١٦٩ - ٢٢٣	الفصل السادس — الموارد المعدنية
١٩٨	التنوع والاهمية
٢٠٠	قابلية الاستهلاك (النفاذ)
٢٠١	تشكل الخامات المعدنية
٢٠٢	الرواسب الماجماتية المبثوثة
٢٠٢	الترسيب البلوري
٢٠٦	الرواسب الماجماتية المتأخرة
٢٠٦	بجماتايت

٢٠٧	الترسبات المائية الحرارية
٢١٠	خامات متحولة بالتماس
٢١١	التبخريات او الرسوبيات الكيماوية
٢١٢	رواسب التبر
٢١٢	عمليات التجوية
٢١٥	رواسب اعماق المحيط
٢١٦	موارد الطاقة
٢٢١	اسئلة
٢٢٢	مراجع اضافية

الجزء الثاني الحركات الخارجية الحت

الفصل السابع — حركة المواد السطحية على المنحدرات ٢٢٨ - ٢٤٧

٢٣٠	اهميتها
٢٣١	انواع الانزلاقات
٢٣٣	الحت بواسطة الامطار
٢٣٤	الانجرافات الضخمة
٢٤١	لحظة الانطلاق
٢٤٦	اسئلة
٢٤٧	مراجع اضافية

الفصل الثامن — الاعمال الجيولوجية للانهار وتطور التضاريس ٢٤٨ - ٢٨٩

٢٥١	جريان الانهار
٢٥٦	الحت والنقل
٢٦٤.	النظام النهري
٢٦٦	الترسيب
٢٧١	الأودية النهرية
٢٧٦	أنظمة التصريف
٢٨١	تطور التضاريس
٢٨٧	أسئلة
٢٨٨	مراجع اضافية

٢٩٠ - ٣٠٧ الفصل التاسع — العمليات الجيولوجية في المناطق
الجافة وعمل الرياح

٢٩٢	العمليات الجيولوجية في المناطق الجافة
٢٩٣	التضاريس الصحراوية
٢٩٨	العمل الجيولوجي للرياح
٣٠٦	أسئلة
٣٠٧	مراجع إضافية

٣٠٨ - ٣٣٢ الفصل العاشر — الجليديات

٣١١	جليديات الجبال
٣٢١	الجليديات القارية
٣٢٦	سبب حصول الجليديات
٣٣٠	أسئلة
٣٣٢	مراجع إضافية

٣٣٤ - ٣٥٧ الفصل الحادي عشر — خطوط الشواطئ

٣٣٧	دورة مياه المحيطات
٣٣٨	المد والجزر
٣٤٠	الامواج
٣٤٦	النحت بالامواج
٣٤٧	النقل بالامواج
٣٤٩	الترسيب بالامواج
٣٥٠	خطوط الشواطئ وتطورها
٣٥٦	أسئلة
٣٥٧	مراجع إضافية

الجزء الثالث
العمليات الداخلية والجيولوجيا التركيبية

الفصل الثاني عشر — المياه الجوفية وموارد المياه ٣٥٨ - ٣٩٠

٣٦٠	المياه الجوفية
٣٦٠	حركة المياه الجوفية
٣٦٨	الآثر الجيولوجي للمياه الجوفية
٣٧١	الينابيع الحارة والفوارات الساخنة
٣٧٥	البترول
٣٧٦	الموارد المائية
٣٧٧	التوزيع الطبيعي للمياه
٣٨٢	استعمال واستهلاك الماء
٣٨٦	الاحتياجات المائية في الحاضر والمستقبل
٣٨٨	اسئلة
٣٨٩	مراجع اضافية

الفصل الثالث عشر — الزلازل وباطن الارض ٣٩٢ - ٤٣٥

٣٩٤	طبيعة الارض: شكلها وحجمها ووزنها
٣٩٤	شكل الارض وحجمها
٣٩٧	وزن الارض
٣٩٨	توزيع الكتلة في الارض
٤٠٠	الهزات الارضية وعلم الزلازل
٤٠٠	سبب الزلازل
٤٠٤	أنواع الأمواج الاهتزازية
٤١٠	الدمار الذي تسببه الزلازل
٤١٢	حجم الزلازل
٤١٥	بعض الامثلة على الكوارث الزلزالية
٤١٧	التنبؤ بالزلازل ومراقبتها
٤٢١	تحديد المركز السطحي

٤٢١	(بناء) تركيب الارض الداخلي
٤٢٨	تكوين طبقات الارض
٤٣٣	أسئلة
٤٣٤	مراجع اضافية

الفصل الرابع عشر — الملامح الرئيسية للقشرة الارضية ٤٣٦ - ٤٤٨

٤٣٨	ملامح سطح الارض الطبوغرافية
٤٤٠	الفروق بين القارات والمحيطات
٤٤٦	اسئلة
٤٤٨	مراجع اضافية

الفصل الخامس عشر — القارات ٤٥٠ - ٤٨٩

٤٥٢	تشوية الصخور
٤٥٢	الطبقات
٤٥٦	الفوالق
٤٦٤	الاستنتاج من الصخور المشوهة
٤٦٦	المعالم القارية الكبيرة
٤٦٨	الجبال
٤٦٩	نظرية الجيوسنكلين - أصل الجبال
٤٧٧	امثلة على التراكيب القارية
٤٨٧	أسئلة
٤٨٩	مراجع اضافية

الفصل السادس عشر — المحيطات والحدود القارية المحيطية ٤٩٠ - ٥١٧

٤٩٢	المحيطات
٤٩٢	الارصفة المحيطية

٤٩٦	الجبـال تحت البحـرية
٥٠٠	ظهور وسط المحيط
٥٠٦	مناطق التكسير
٥٠٧	الحدود القارية المحيطية
٥٠٨	المنحدر القاري
٥١٠	الجزر القوسية
٥١٥	أسئلة
٥١٦	راجع اضافيا

الفصل السابع عشر — منشأ التراكيب في القشرة الارضية ٥١٨ - ٥٤٢

٥٢١	الجيوستركليات
٥٢٢	الجزر القوسية البركانية
٥٢٣	المنحدرات القارية
٥٢٣	الماجما
٥٢٥	الطاقة
٥٢٧	نظريات
٥٢٨	تيارات الحمل
٥٣٣	توسع قاع المحيط
٥٣٦	الخسف القاري
٥٣٧	الازاحة القارية
٥٤٠	أسئلة
٥٤١	مراجع اضافية

الفصل الثامن عشر — الازاحة القارية ٥٤٤ - ٥٧١

٥٤٩	المجال المغناطيسي للارض
٥٥٢	المغناطيسية المتبقية
٥٥٧	الدليل المغناطيسي على توسع قاع المحيط
٥٦٠	الادلة المؤيدة والمعارضة

٥٦٠	الادلة المؤيدة
٥٦٠	المغناطيسية القديمة
٥٦٠	تطابق القارات
٥٦٠	المناخ
٥٦١	الحركة الافقية في الفوالق
٥٦١	طبقات الصخور ومستحاثاتها
٥٦٥	التراكيب
٥٦٦	انفصال المحيط والقارة
٥٦٦	الادلة المعارضة
٥٦٦	التسرب الحراري
٥٦٧	الزلازل الارضية عميقة المركز
٥٦٧	الترسبات المحيطية
٥٦٧	ملخص
٥٧٠	أسئلة
٥٧١	مراجع اضافية

الجزء الرابع تاريخ الارض

الفصل التاسع عشر — مبادئ الجيولوجيا التاريخية ٥٧٤ - ٦٠٤

٥٧٦	الزمن الجيولوجي
٥٨١	عدم التوافق
٥٨٤	مضاهاة وتاريخ الصخور
٥٨٨	التأريخ بالنشاط الاشعاعي
٦٠١	درجات الحرارة القديمة
٦٠٢	أسئلة
٦٠٤	مراجع اضافية

الفصل العشرون - تاريخ الارض المبكر

٦٠٦ - ٦٠٧

اعتبارات فلكية جيولوجية

٦٠٩	النظام الشمسي
٦١٣	مجموعة الكواكب السيارة الداخلية
٦١٣	المريخ
٦١٦	الزهرة
٦١٦	الكواكب الكبرى
٦١٨	القمر
٦٢٩	النيازك
٦٣٦	المذنبات
٦٣٩	التكتايت
٦٤٠	أصل النظام الشمسي
٦٤٧	نظام الارض والقمر
٦٤٩	بداية تاريخ الارض
٦٤٩	التبلور الداخلي للارض
٦٥١	أصل المحيطات والغلاف الجوي
٦٥٥	أسئلة
٦٥٦	مراجع اضافية

الفصل الحادي والعشرون — التاريخ الجيولوجي للاردن ٦٥٨ - ٦٨٩

٦٦١	حقب الحياة القديمة - الباليوزويك
٦٦١	النظام الكامبري
٦٦٦	النظام الاوردوفيشي
٦٦٩	النظام السيليوري
٦٧١	النظام الديفوني
٦٧١	النظام الكربوني
٦٧١	النظام البيرمي

٦٧٢	حقب الحياة المتوسطة - الميزوزويك
٦٧٢	النظام الترياسي
٦٧٣	النظام الجوراسي
٦٧٤	النظام الكريتاسي
٦٧٤	انساق الكريتاسي الاسفل
٦٧٤	انساق الكريتاسي الاعلى
٦٧٧	١. وحدة الحجر الجيري العقدية
٦٧٧	٢. وحدة الحجر الجيري الاكنويدية
٦٧٨	٣. وحدة الحجر الجيري الكتلية
٦٧٨	٤. وحدة الحجر الجيري السيليسية
٦٧٨	٥. وحدة الفوسفورايت
٦٧٩	٦. وحدة المارل الطباشيرية
٦٧٩	الصخور البركانية في الحقبة الوسطى
٦٨٠	حقب الحياة الحديثة - السينوزويك
٦٨٠	وحدة الحجر الجيري الصوانية
٦٨١	الكونجلوميرات المعاصرة للحركة التكتونية
٦٨٢	تبخرات اللسان
٦٨٢	تكوين الشاغور
٦٨٣	تكوين اللسان
٦٨٤	الصخور البركانية في الحقبة الحديثة
٦٨٦	اسئلة
٦٨٨	مراجع اضافية

٧٧١ - ٦٩٠

الفصل الثاني والعشرون — تطور الحياة

٦٩٣	أصل الحياة
٦٩٤	الاستحاثات
٦٩٨	الانقراض والاستبدال
٧٠٠	السجل المستحاثي
٧٥٩	تطور الانسان
٧٦٨	أسئلة
٧٧٠	مراجع اضافية
٧٧٢	قاموس المصطلحات الواردة في هذا الكتاب

مقدمة المؤلف :

كثيرة هي كتب الجيولوجيا العامة ، غير ان القليل منها ما يغطي الجيولوجيا الفيزيائية والحياتية . وفي خطط الجامعات الدراسية المعاصرة المزدحمة بالمواضيع ، فان القليل من غير المتخصصين في الجيولوجيا قادرون على ان يدرسوا اكثر من مادة جيولوجيا واحدة . ومن ثم نمت الحاجة الى الكتب والمواد التي تغطي الجيولوجيا بمعناها الواسع . ان التعليم العام الذي يريده ويحتاجه الطالب هو نظرة عامة وواسعة للارض ككل ، فان لم يزود بذلك سيفقد الجزء الاكبر من القيمة الحضارية للجيولوجيا . ان كثيرا من مواد الجيولوجيا الاساسية قد وضعت لتكون المادة الاولى للتخصص في الجيولوجيا بها يتتبع عن كتب الخطوط العريضة لمثل هذه المواد ، ثم يذهب لدراسة مواد اخرى كثيرة ، واما الطالب الذي ينتهي عند هذا الحد فيمكن الا يتعرف على الجيولوجيا التاريخية وعلى معاني كثيرة حول بناء القشرة وتطورها . وبالرغم من هذه المواد ، فان طلاب جيولوجيا كثيرين لا يحصلون على هذه النظرة الواسعة للجيولوجيا الا في دراساتهم المتقدمة او العالية ، لان ما هو موجود في هذا الكتاب يوزع عادة على عدة مواد . ولقد شجع على وضع هذا الكتاب قبول معادلة مبكرة لتقديم مثل هذه النظرة الواسعة للجيولوجيا في الوقت القصير المخصص لمادة في علم فيزيائي او علم من علوم الارض .

وبما ان هذا الكتاب يحاول ان يقدم نظرة واسعة وكاملة الى حد معقول لكل الجيولوجيا ، فان كثيرا من المواضيع قد غطيت وهي لا تظهر عادة في الكتب العامة . وبعض هذه المواضيع غير موجودة في الكتب الاساسية لانه مختلف عليها . وعندما تحذف بعض هذه المواضيع ، فان الطالب النجيب يعسرف ان القصة غير مكتملة ، ولا يكتشف معلمه ذلك الا بالاسئلة التي يطرحها الطالب . والكتاب يحاول ان يبرز نظرة حديثة للجيولوجيا ، وقد لا يوافق كـل المدرسين على ذلك وخاصة في المواضيع التقليدية . وفي كثير من الاحيان تتجنب هذه المواضيع في الكتب تحاشيا لاية وجهة نظر تسيء الى بعض المدرسين . وعلى كل حال ، فاذا اختلف المحاضر مع الكتاب في وجهة نظره ، فان عليه ، ان يحاضر في نفس الموضوع مع ابراز وجهة نظره هو . ويمكن ان يدفع مثل هذا العمل الطالب الى ان يفكر ويحلل وجهتي النظر ومن ثم فان ذلك يخدم في ان

يطور تفكير الطالب الجدي . وعلى أي حال ، فإنه من الأسهل أن تحاضر في موضوع قد قرأ الطالب عنه ولو شيئا قليلا وبنفس الطريقة ، فإن المواطن — التي مازالت غير مفهومة في الجيولوجيا ، قد أشير إليها دون محاولة لإبرازها أكثر من اللازم . وفي محاولتنا فهم الأرض فإن المهم أن نتحقق ، ما هو غير معروف عنها بمقدار ما نتعلم الحقائق المعروفة . ان الطالب النجيب لا يستحق اقل من ذلك .

يغطي الجزء الاول من هذا الكتاب المعادن والصخور حتى يمكن ان تدرس في المختبر في وقت مبكر ، اذا كان لهذه المادة مختبر .

وتبدأ كثير من المواد ذات المختبرات بهذه المواضيع (المعادن والصخور) ، مما يجبر المدرس عادة على ان يتبع ترتيبا آخر للفصول غير ترتيب المؤلف . وفي بعض المواد يؤدي ذلك الى صعوبات لاداعي لها للطالب . وفي كثير من مواد المختبرات فان التاكيد عادة يكون على التعرف على المعادن والصخور وتسميتها ويجب ان يضاف الى ذلك كيفية تغير الصخور كما هو مؤكد في هذا الكتاب .

وتتقدم المواضيع (في هذا الكتاب) من المواد ، مثل المعادن والصخور ، الى العمليات والاستشهادات للطالب في المختبر وغير المختبر . وترتبط اجزاء علوم الجيولوجيا ببعضها بحيث لا يوجد مواضيع مفضلة . وحتى نرى العلاقات المتبادلة بين المواضيع المختلفة فإنه كثير ما استعملت المراجع المتبادلة في هذا الكتاب . وتساعد هذه المراجع الطالب ليرى هذه العلاقات ويحافظ على رغبته في اولويات قراءته . وهي تسهل ايضا استعمال الفصول في ترتيب مختلف ، وتساعد كثيرا في الدراسة والمراجعة للامتحانات النهائية .

ولقد ادخل في هذا الكتاب عدد من المظاهر لتجعل منه اكثر فائدة للطالب ذي التعليم العام . ولقد ابقى عدد المصطلحات العلمية المستعملة في هذا الكتاب في حده الأدنى حتى يركز الطالب على المبادئ بدل الاسماء . وتؤكد لوائح القراءات الاضافية الموجودة في اخر كل فصل على مقالات مجلة **Scientific American** وخاصة الموجود منها بشكل منفصل ، وعلى الكتب المطبوعة في غلاف ورقي **Paperback** . ان مثل هذه المواد (المجلات والكتب) البهولة التداول وغير غالية الثمن يمكن أن تشجع على دراسات خارجية . اما اسئلة اخر الفصل فهي بشكل رئيسي اسئلة سهلة

وواقعية ستساعد الطالب على ان يراجع ويختبر قدرته على الحفظ . وبعض هذه الاسئلة ، على كل حال ، اسئلة تفكير ، يمكن ان تساعد لان يرى ابعد من حدود الكتاب . وفي بعض الحالات ، فان بعض النقاط التي لم تغط بشكل خاص في الكتاب غطيت بالاسئلة .

ويؤكد تاريخ الحياة في الفصل ٢٢ على اللافتاريات الاكثر فائدة لغير الجيولوجي من الفتاريات الاكثر اهمية في علم الطبقات .

ويختلف هذا الكتاب عن كثير غيره في طرق اخرى . ولقد استعمل مصطلح البنية Structure ليشمل كلا المظاهر الصغيرة من القشرة التي عادة ما تسمى كذلك بهذا الاسم والمظاهر الكبرى التي تدعى عادة Tectonics . ولقد ادى هذا الى عدم استعمال كلمة Tectonics مما يؤكد ان هذه المظاهر الصغيرة والكبيرة تشترك كثيرا في امورها . وبعض المواضيع مثل المقعرات الارضية Geosynclines والازاحة القارية Continental Drift التي تدرس عادة تحت باب الجيولوجيا التاريخية ، قد وضعت في باب الجيولوجيا البنائية التي تترافق معها عادة . وفي هذا الكتاب فان كله « بليون » قد استعملت بمعناها الامريكي وتعني الف مليون .

روبرت ج فوستر

سان جوزيه ، كاليفورنيا

كانون ثاني ١٩٦٩

مقدمة المترجمين

طلب الينا مجمع اللغة العربية الاردني أن نترجم كتابا يشمل مبادئ الجيولوجيا الاساسية كجزء من خطته في ترجمة الكتب التي تدرس في السنة الاولى من اقسام كلية العلوم المختلفة في الجامعة الاردنية .
ولقد استعرضنا كتابا كثيرة قبل ان نقرر ترجمة هذا الكتاب بالذات .
فوجدنا انه تفرد من بين غيره في أنه يحوي بين دفتيه الجيولوجيا الفيزيائية والتاريخية والحياتية .
وقد كان هذا كافيا لنا لان نفرض النظر عن كونه قديما نسبيا حيث كتب سنة ١٩٦٩م .

ليست الساحة خالية تماما من المصطلحات الجيولوجية العربية . فهناك معاجم فردية وجماعية . وهناك كتب مؤلفة باللغة العربية . ولقد ساعد ذلك كثيرا في ايجاد الكلمات الملائمة لما واجهناه من مصطلحات اجنبية . إلا أن ذلك كان يشكل احيانا عاملا معوقا لوجود اكثر من مقابل عربي للمصطلح الاجنبي الواحد ، تبعا لتعدد الاقطار العربية .
ولقد جمعت المصطلحات المستعملة في هذا الكتاب على شكل قاموس صغير ذيل به الكتاب ليسهل الرجوع اليها .

ولقد جعلنا الترجمة طبق الاصل بحيث يستطيع الطالب ان يقابل بين ايه فقرة او جملة في الاصل ونظيرتها في الترجمة . ولم نخرج عن فكر المؤلف ولم نضع افكارا من عند انفسنا ، حتى حيث كان المجال متسعاً لذلك . ومن قبيل المحافظة على اصل الكتاب ان ابقيت الاسئلة ومراجع القراءة الاضافية كما وردت فيه .
غير ان فصلا واحدا قد اخرج من الكتاب هو الفصل الحادي والعشرون الذي يتحدث عن جيولوجية اواسط شمال امريكا* وكان سبب ذلك ان هذا الفصل ذو قيمة محلية فهو يتحدث فقط عن جيولوجية تلك المنطقة من امريكا حيث الف الكتاب . فاستعرضنا عنه بفصل يتحدث عن جيولوجية الاردن دون الاسهاب وبالقدر الذي يسمح به حيز الكتاب حتى تكون امثلتنا محلية عن

* Geologic History of Middle North America

تدريس هذه المادة ولان الجيولوجي المحلي يكون دائما بحاجة للتعرف على جيولوجية بلاده . وهو نفس السبب الذي دعا المؤلف لوصف جيولوجية واسط امريكا الشمالية . وقد استعنا في كتابة هذا الفصل ببحث عن جيولوجية الاردن للبروفسور فردريك بندر نشره سنة ١٩٧٥ في منشورات المساحة الجيولوجية الاميركية ، فاذا استعمل هذا الكتاب في غير الاردن فقد يـرى الزملاء الكرام الذين يستعملونه ان يضيفوا له ملحقا بـجيولوجية القطر الذي يعيشون فيه .

ترجم الباب الاول من الكتاب ، باب « مواد قشرة الارض » الدكتور عبد القادر عابد ، بينما ترجم الدكتور شاكرا المقبل الباب الثالث ، وهو باب تراكيب الارض وبنيتها » . اما الدكتور سعد الباشا فقد ترجم « تاريخ الارض » أي الباب الرابع ، بما في ذلك كتابة « تاريخ الاردن الجيولوجي » . واشترك الجميع في ترجمة الباب الثاني .

ولا نريد ان نكرر هنا كلاما معروفا وهو ان الدراسة باللغة العربية اسهل فهمها وايسر ادراكا على الطالب من الدراسة بلغه اجنبية . فلعلمـ الحق ان هذا الامر بدهي . غير ان العقبة الكأداء التي تعترض سبيل ذلك ، عدم وجود مراجع اساسية في اللغة العربية . ومن ايسر الطرق واسرعها لتلافي ذلك ان يتنادى الزملاء فرادي وجماعات في كل قسم من اقسام الجيولوجيا في جامعات الوطن العربي ومراكز ابحاثه لترجمة كتاب او كتابين من المراجع الاساسية وفي خلال فترة محددة . ثم يجري تبادل هذه الكتب المترجمة بين الجامعات المختلفة ، ومن ثم وفي خلال هذه الفترة المحددة يصبح عند كل قسم عدد جيد من المراجع . ويمكن ان يعاد ذلك مرة ومرات . اتنا نعتقد ان هذه خطوه حضارية واجبة تجاه لغتنا العربية التي هي رمز هويتنا والجزء الحي المتبقي من تراثنا .

المترجمون

عبد القادر عابد

شاكرا رسمي المقبل

سعد حسن الباشا

عمان

٢٢ ايار ١٩٧٩

الجزء الأول

تركيب القشرة
المعادن والصخور

Crust Composition
Minerals and Rocks

الفصل الأول

مقدمة

لماذا ندرس الارض
مجال الجيولوجيا
الطرق الجيولوجية
اتجاهات حديثة
هذا الكتاب

صورة لمجموعة من اعضاء مساحة هايـدن . Hayden اخذت في
Red Buttes, Wyoming في ١٨٧٠/٨/٢٤ . لقد استطاعت مساحة هايـدن
هذه استكشاف جبال روكي جيولوجيا في مدة عشر سنوات تقريبا . لقد انتج
المسح الجيولوجي لغرب الولايات المتحدة افكارا جيولوجية كثيرة ساعدت في
تطوير علم الجيولوجيا . ويتناقض هذا المشهد بشدة مع برنامج الفضاء الحالي،
والذي يعتبر واحدا من حدود الجيولوجيا الحالية . الصورة من W. H. Jackson ،
المساحة الجيولوجية والجغرافية للولايات المتحدة .



لماذا ندرس الارض

الجيولوجيا هي العلم الذي يدرس الارض ويعتبر عيشنا على هذه الارض سببا كافيا لدراستها . وبمقدار ما تزداد معرفتنا عن هذا الكوكب ، وخصوصا بيئته وموارده بمقدار ما يتحسن فهمنا واستعمالنا وتقديرنا له . ان الارض هي في نظر الانسان اهم عناصر هذا الكون .

ولكن تقتلص اهمية الارض عندما ينظر الانسان نظرة اكثر شمولاً. ففي مجرتنا يوجد على الاقل ثلاثة نجوم لها كواكب وقد تصل هذه النجوم الى ثمانية . لم نستطع رؤية هذه الكواكب حتى باكبر التلسكوبات . لكننا نستدل على وجودها من حركة النجوم المتقلقلة . والارض كوكب من حجم متوسط يدور حول نجم من حجم متوسط ، وعليه فالارض تبدو كوكبا متوسطا . ولكنها تنفرد على كل حال ، في احتوائها على الماء ممثلا في المحيطات وفي ان لها غلافا هوائيا هو عهاد الحياة . وحرارة سطح الارض التي يلطف منها بعدها عن الشمس هي التي تجعل هذين ممكنين وهما بدورهما يجعلان الحياة على سطح الارض ممكنة ايضا . وتاريخ الحياة على سطح الارض وتطورها جزء مهم من الجيولوجيا التاريخية ، ولقد اثبتت برامج الفضاء ان الارض تنفرد ايضا في ان لها مجالا مغناطيسيا . ولاسباب ستدرس في وقت لاحق ، فانه يعتقد بان مجال الارض المغناطيسي ناتج عن ان باطن الارض من حديد سائل وأن هذا الحديد يخزن الطاقة التي تسبب بعض الظواهر الارضية كسلاسل الجبال . وهذه الظواهر تنفرد بها الارض حسب معلوماتنا الحاضرة ، وهي التي تتمركز حولها عمليات

التحات والالتواء على سطح الأرض . وتعتبر هذه العمليات الجزء الاساسي في الجيولوجيا الفيزيائية (١) . وعليه فالجيولوجيا في غالبيتها العظمى هي دراسة لما ينجم عن ظواهر الأرض الفريدة .

ولقد قدمت الجيولوجيا كثيرا للحضارة ماديًا وثقافيًا ، ومن أهم ما قدمته الجيولوجيا أنها جعلتنا ندرك عمس الأرض الموعول

العمر التقريبي بملايين السنين (تاريخ اشعاعي)	المرحلة والنظام	دقب
	تشير المرحلة الى مدة زمنية ويشير النظام الى الصخور التي ترسبت خلال تلك الفترة	
7 26 37-38 53-54 65	Recent (Holocene) حديث (هولوسين) Pleistocene بلايستوسين Tertiary ثلاثي Pliocene بليوسين Miocene ميوسين Oligocene اوليجوسين Eocene ايوسين Paleocene پليوسين	حقب الحياة الحديثة
136 190-195 225	Cretaceous كريتاسي Jurassic جوراسي Triassic ترياسي	حقب الحياة المتوسطة
280 310 345 395 430-440 500 570	Permian برمي Carboniferous كربوني Devonian ديفونى Silurian سيلوري Ordovician اوردوفيشي Cambrian كمبري	حقب الحياة القديمة
700 3,400 4,000 4,500	أول الكائنات متعددة الخلايا أول الكائنات وحيدة الخلية العمر التقريبي لأول صخر مكتشف العمر التقريبي للنيازك	بريكامبري

الشكل (١ - ١) سلم التاريخ الجيولوجي. على اليمين ترى تخطيطاً مبسطاً جداً لتطور الحياة . وهناك أنواع كثيرة من المستحاثات اللاصفارية لا تظهر فيه مثل ذوات الاصداف وذوات الاذرع والمرجانيات والاسفنجيات والقواقع التي ظهرت اول الامر في العصر الكامبري او اوردوفيشي واستمرت حتى الان وسيبحث هذا الشكل في الجزء الرابع .

في أنها تعنى بالزمن المطلق . في حين أن الزمن الذي يظهر في معادلات الكيميائيين والفيزيائيين زمن نسبي وليس مطلقا فهو عادة يهتم بسرعة التحولات (٢) . أما الزمن الجيولوجي فيمتد كثيرا الى الوراء الى ما يقارب خمسة بلايين من السنين أي عندما نشأت الأرض . وعليه فالجيولوجيا تهتم بفترات زمنية طويلة جدا اذا ما قيسست بخبرات الانسان . وان من الصعب أن يستوعب الزمن الذي تحتاجه العمليات الجيولوجية ، ولكن لابد من ادراكه حتى يمكن ادراك الجيولوجيا تمام الادراك .

وهذه فكرة هامة أخرى تعلمناها من الجيولوجيا وهي ان هناك تغيرا جيولوجيا وفيزيائيا مستمرا على سطح الأرض .

ويشكل اصل الحياة وتطورها جزءا من دراسة الجيولوجيا . انها (اي الحياة) ذات علاقة وطيدة بتاريخ سطح الأرض وتطورها ومن ثم لا يمكن فصلها . ويرى الجيولوجيون ان الحياة بمعناها الواسع مترابطة . ويشاركهم البيولوجيون هذا الاهتمام في الحياة ، ولكن شواهد هؤلاء معظمها جيولوجية في طبيعتها ، ولذلك يتداخل علما الجيولوجيا والبيولوجيا الى حد ما . هناك بضعة قوانين اساسية في الجيولوجيا كما سنرى في الجزء الرابع من هذا الكتاب . وكان اهم هذه القوانين معروفا منذ أيام اليونان الاقدمين ولكن الناس انذاك كانوا غير مستعدين لقبولها ، فلذا نسيت واعيد اكتشافها من جديد . والمبدأ الاساسي الذي تبنى عليه معظم الجيولوجيا هو ببساطة ان العمليات التي تحدث حاليا على سطح الأرض ما فتئت تحدث طوال التاريخ الجيولوجي للأرض وبكلام آخر « فان الحاضر مفتاح الماضي » . ومن ثم فان الصخور القديمة يمكن أن يفسر وجودها في ضوء العمليات الحاضرة .

ومساهمات الجيولوجيا الاقتصادية للحضارة العالمية تبين ان الجيولوجيا من نواحي عدة علم تطبيقي . فقد استعملت المعرفة الجيولوجية لتحديد مواردنا المعدنية واستغلالها وباستثناء الماء والتربة الزراعية ، فان جميع الموارد الطبيعية لا تتجدد . فالرمل والحصى والبتروول والفحم والفلزات تتناقص باستمرار . فان هي استخرجت من مناجمها فقد انتهت ولا بد من إيجاد

غيرها . لقد اكتشف الجيولوجيون خامات الفلزات وخامات المعادن التي تنتج الطاقة وعليها تركز حضارتنا . اننا نأخذ ذلك الان كقضايا مسلم بها ، الا انه قبل مائة عام عندما بدا الغرب يتفتح . وعندما حدث الانقلاب الصناعي ، كانت هذه المعادن تكتشف بسرعة كبيرة جدا ، وكان الجيولوجيون عندها اكثر العلماء نفوذا وتلك هي الفترة التي فيها ارسيت مبادئ علم الجيولوجيا الاساسية .

واليوم ما زالت الموارد الطبيعية تشغل عددا كبيرا من الجيولوجيين الا ان هذا اخر منهم بدأ يهتم بمشاكل اقتصادية أخرى كالتعمير (٢) . لقد أدى تطور المدن الكبرى الى ظهور انشاءات (٤) كبرى كالسدود والبنائيات الشامخة . فالجيولوجيا تساعد في تصميم قواعد مثل هذه الانشاءات . وهناك امثلة شائعة عن انشاءات كبيرة او صغيرة آلت الى الدمار بسبب اهمال بعض المبادئ الجيولوجية البسيطة التي يفهمها بسهولة الطلبة المبتدئون (انظر الشكل



الشكل (١ - ٢) : انزلاق ارضي في Point Firmin, California
تستطيع الدراسات الجيولوجية ان تمنع هذه الخسارة . صورة جوية .

١ - ٢) . لقد انهارت سحود لانها بنيت على صدوع (فوالق) فعاله (٥) او على قواعد مسامية . ولقد سدت او جرفت طرق حديثة البناء حال تعرضها للمطر بسبب الانزلاقات الارضية (٦) . كما ان بيوتا بنيت على السفوح قد دمرتها الانزلاقات الارضية او طهرها الطين . لقد أدرك الجيولوجيون ايضا الحاجة الى الانشاءات المقاومة للزلازل في بعض المناطق وساعدوا في تصميم تلك الانشاءات .

مجال الجيولوجيا

تهتم الجيولوجيا بالعمليات التي تحدث فوق الارض وفي داخلها وبتاريخ الارض متضمنا تاريخ الحياة . ان الجيولوجيا بشكلها الاعم تشمل دراسة القارات والمحيطات والغلاف الهوائي ومجالات الارض المغناطيسية والاشعاعية . ومن الواضح ان هذا المجال اوسع من ان يشمل عالم واحد في اختصاصه . ومن ثم فان الجيولوجيين عموما ، لاعلى سبيل الحصر ، يقصرون دراستهم على الارض الصلبة مباشرة . ولكن آخرين قد طـُـوروا تخصصات اخرى لدراسة النواحي المختلفة للارض فالجيوفيزيائيون يدرسون اجزاء الارض البعيدة ومجالاتها بطرق غير مباشرة بينما يدرس علماء البحار (٧) الغلاف المائي للارض ، ويدرس علماء الارصاد (٨) غلافها الهوائي . والجيولوجيا حتى في هذا المعنى الضيق ذات مجال دراسي عريض لـذا يتخصص معظم الجيولوجيين في واحد او اكثر من فروع الجيولوجيا مثلما ان المهندسين يختصون في النواحي المتعددة للعلوم الفيزيائية كالالكترونيات وهندسة البناء . وعلى كل حال فالجيولوجيا اوسع من الهندسة لانها تشمل العلوم الفيزيائية والبيولوجية على السواء .

وحتى نوضح ذلك سنذكر بعض التخصصات في علوم الجيولوجيا . ان اولئك الذين يدرسون المعادن والصخور يحتاجون الى تدريب خاص في الفيزياء والكيمياء كما هو الحال في الجيوكيماويين (٩) الذين يعنون انفسهم بالعمليات الكيماوية

في الارض . اما الذين يدرسون المستحاثات (الحفريات) (١٠) فيجب عليهم ان يدرسوا بيولوجية النبات والحيوان (الفقاريات واللافقاريات) حتى يتسنى لهم تفسير عمر مستحاثاتهم وبيئتها . ثم ان الذين يدرسون الصخور المشوهة (١١) يجب ان يعلموا الميكانيكا . وجيولوجيو البترول والمياه الجوفية يجب ان يدرسوا علم حركات السوائل (١٢) ويضيق المجال عن ذكر جميع التخصصات فتكفي الامثلة المتقدمة . وتتداخل هذه التخصصات قليلا او كثيرا ، غير ان الجيولوجي مهما كان تخصصه يجب ان تكون جميع وجوه الجيولوجيا مألوفة لديه .

الطرق الجيولوجية

تعتمد الجيولوجيا بشكل رئيسي على الملاحظات (١٣) . وتسعى لتحديد تاريخ الارض عن طريق تفسير هذه الملاحظات منطقيا مستعملة علوما اخرى كالفيزياء والكيمياء والبيولوجيا . والتجارب المخبرية لا تحل الا جزءا صغيرا من مشاكل الجيولوجيا ولنضرب لذلك مثلا ، من المستحاثات . فهي تستعمل بشكل رئيسي لتاريخ وانشاء التزامن (١٤) بين طبقات الصخور . وهذا الاستعمال مبني على مبدأ اساسي بسيط وهو « ان الحياة قد تغيرت خلال تاريخ الارض » . وهذا المبدأ لا يمكن اثباته بالتجربة الا انه جاء كنتيجة للملاحظات والتحليل طوال فترة زمنية طويلة على يد اشخاص كثر ذوي خلفيات علمية متعددة . ان المسائل الجيولوجية كثيرة ومختلفة ومعقدة . وهي في غالبيتها العظمى تحل بطريق غير مباشرة . وفي كثير من الحالات نجد أن الطرق المختلفة في الحل تؤدي الى نظريات متعارضة وكثيرا ما يصعب ان تختبر صحة النظرية منطقيا لاسباب عدة منها : ان حجم اغلب المسائل الجيولوجية تجعل الدراسة المخبرية مستحيلة . فان من الصعب ان يحضر انسان بركانا الى المختبر رغم ان بعض نواحي الدراسات البركانية يمكن ان تعالج في المختبر . ومنها ايضا صعوبة تمثيل الزمن الجيولوجي بالتجربة . وهذا يعني ان الجيولوجيا تنقصها الدقة وان افكارنا تتغير بمقدار ما نحصل على معلومات جديدة . وليس هذا ضعفا طبيعيا في الجيولوجيا لكنه يعني ان هناك الكثير مما يجب اكتشافه ، وهذا بدوره يظهر ما تطرحه الجيولوجيا من تحديات .

10. Fossils

11. Deformed

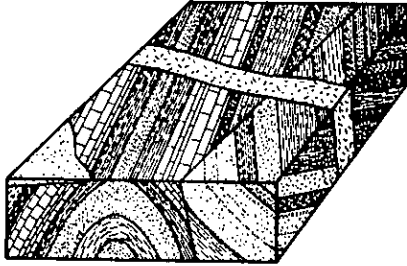
12. Hydrodynamics

13. Observations

14. Contemporaneity

ان المقدرة على التعليل والخلفية العريضة في شتى فروع العلم هي ادوات الجيولوجي الرئيسية . فهو يستعمل اسلوب الفرضيات المتعددة ليختبر نظرياته وليحاول الوصول الى النظرية الاكثر رصانة . وهذا الاسلوب الفكري يتطلب اكبر عدد ممكن من الفرضيات ، ثم القدرة على ابتكار طرق لاختبار كل واحدة منها . وليس من الممكن دائما ان تصل الى حل فريد غير ان ذلك هو الهدف ولان الجيولوجي يعتمد في طريقه على الملاحظة والانتباه الى التفاصيل ثم التعليل ، فان عمله يشبه عمل المخبرين في القصص الخيالية .

واهم طريقة استعمالها الجيولوجي هي ان يرسم على الخرائط مواقع انواع الصخور المختلفة على سطح الارض . وفي معظم الخرائط ترسم الصخور حسب عمرها ونوعها (انظر الشكل ١ - ٣) . ومن مثل هذه الخرائط يمكن تفسير



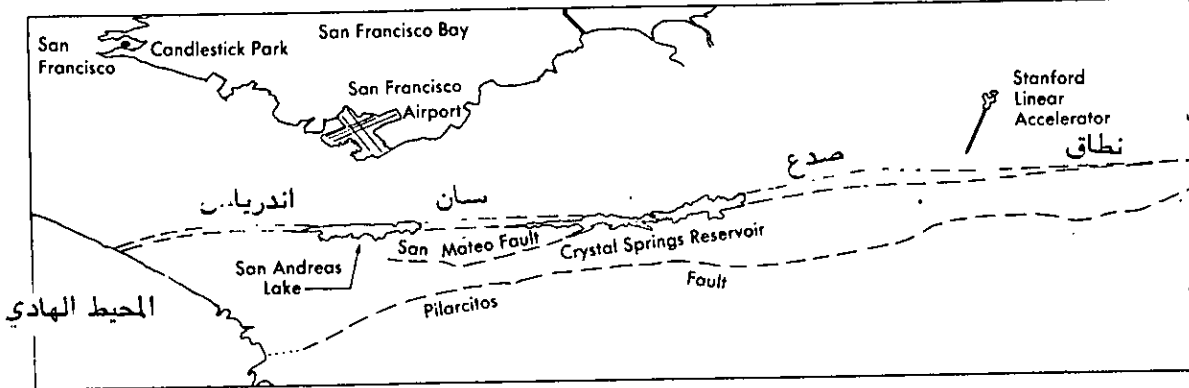
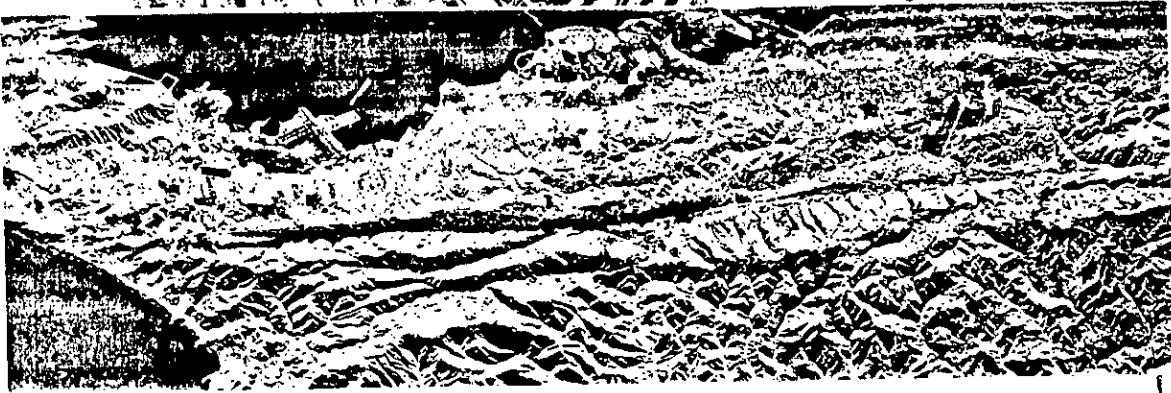
الشكل (١ - ٢) :
مجسم يري خريطة
جيولوجية مع مقاطع
على الجوانب . الخريطة
الجيولوجية تري توزع
انواع الصخور على
سطح الارض . ومن
مثل هذه الخرائط يفسر
تاريخ الجيولوجيا .

التاريخ الجيولوجي للمنطقة . ولقد كان على الجيولوجيين الاوائل ان يعملوا خرائطهم بأنفسهم وكان العمل في المناطق النائية عملية قاسية في كثير من الاحيان . أما الان فقد أصبح هناك خرائط ممتازة للكثير من المناطق انتجت بالتصوير الجوي . ولقد اجريت عمليات مسح جيولوجية مباشرة كثيرة على الصور الجوية العادية والملونة ، مما اثبت ان هذه الخرائط لا مثيل لها في دقة تحديد الاماكن للوحدات الصخرية . اصف الى ذلك ان هيئة الوحدات الصخرية تبدو بشكل واضح على الصور الجوية (انظر الشكل ١ - ٤) ثم ان الصور الرادارية التي تظهر سطح الارض تحت غطاء الغابات الكثيفة زادت من استعمال الصور الجوية لمثل هذه المناطق (انظر الشكل ١ - ٥) . ولقد حلت طائرات الهليكوبتر وسيارات الجيب ، الى حد كبير ، محل حيوانات الحمل (انظر الشكل ١ - ٦) . ورغم

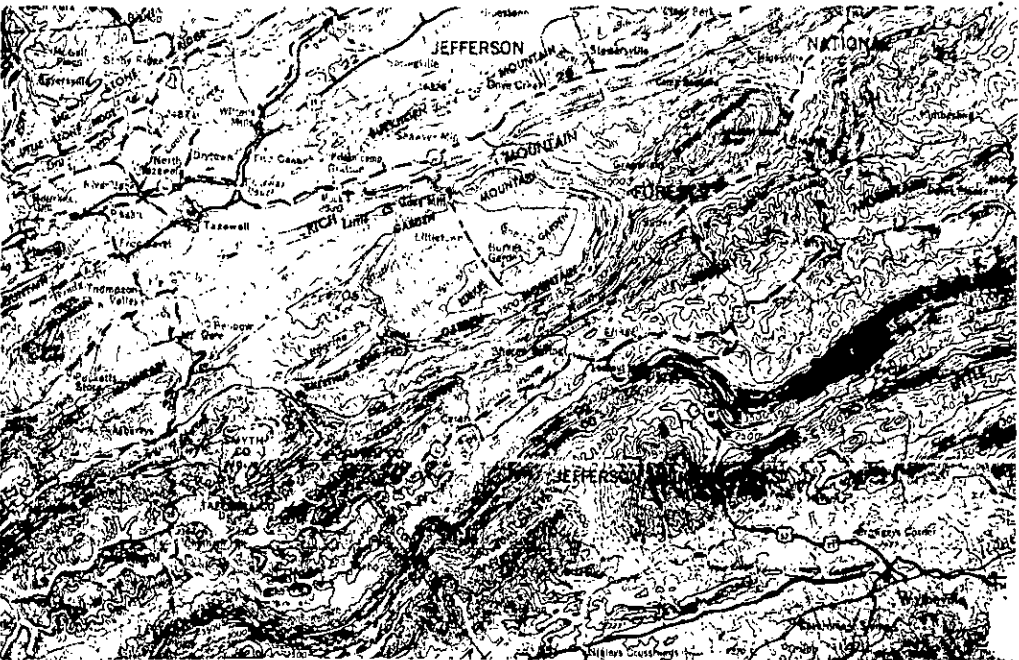


الشكل (١ - ٤) :

صورة جوية عمودية
لصخور مطوية في
منطقة Wyoming
ولقد أنتج الحث
النافذ هذه
التضاريس بسبب
مقاومة أنواع الصخور
المختلفة للثقل . وتعتبر
هذه الصورة بالضرورة
خريطة جيولوجية لهذه
المنطقة . والصورة من
ادارة المساحات
الجيولوجية للولايات
المتحدة الأمريكية
U.S. Geological Survey



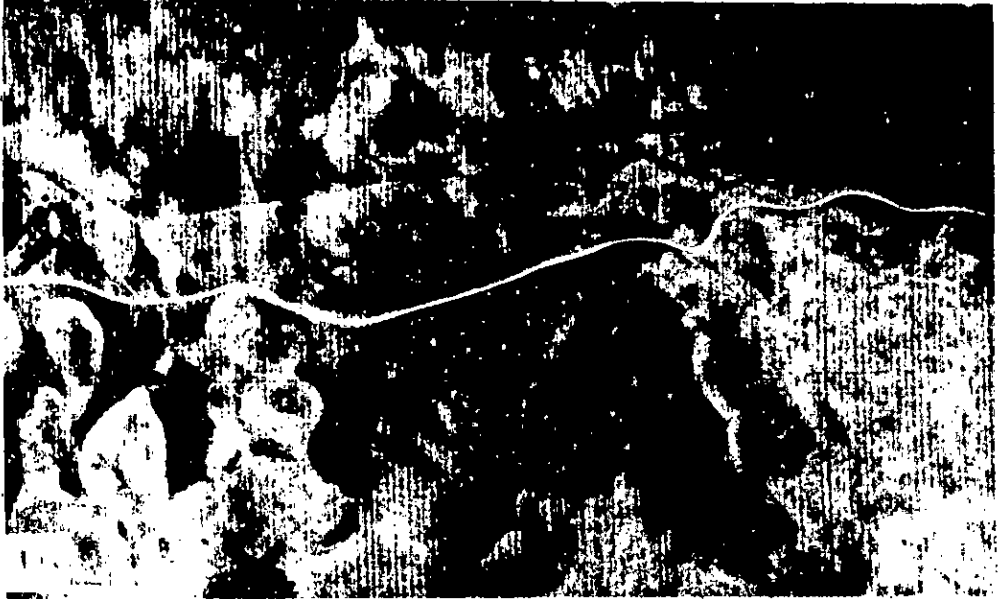
الشكل (١ - ٥) صورة رادارية . أ - شبه جزيرة سان فرانسيسكو : وتختلف
الصورة الرادارية عن غيرها في أنها يمكن الحصول عليها في الجو الغائم وحتى في الظلام .
ويخترق الرادار الغطاء النباتي ويكشف عن السطح الحقيقي . ويحتوي الجزء السفلي من هذه
المنطقة على غابة (أخشاب حمراء) كثيفة . من ادارة المساحة الجيولوجية للولايات المتحدة
بالتعاون مع ناسا وشركة وستجهاوس الاكترونية .



الشكل (١ - ٥) تابع : جبال الابالاش في غرب فرجينيا . ان تراكيب هذه الصخور
معروفة جيدا .

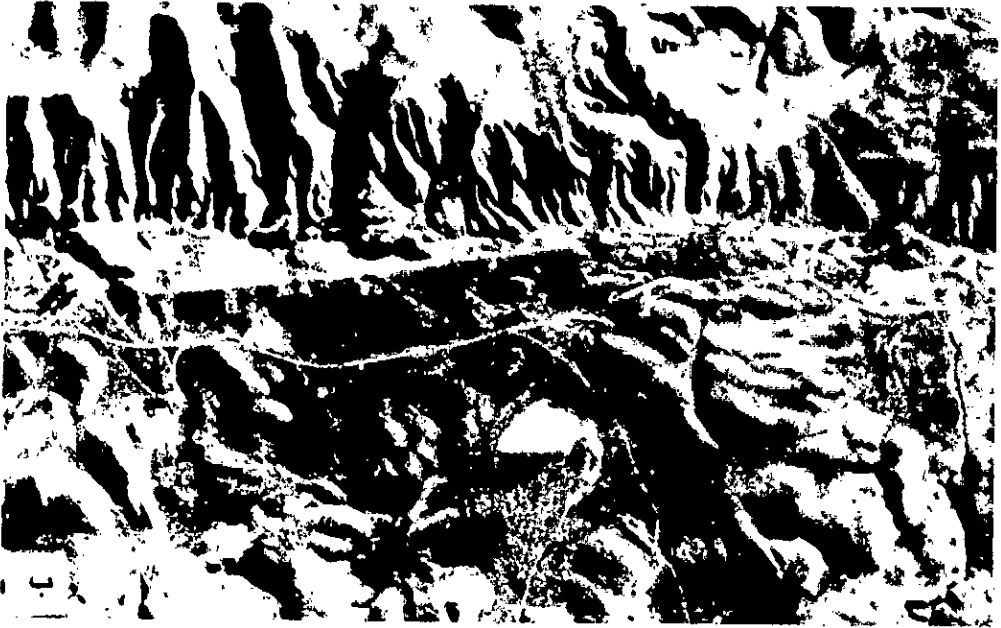


الشكل (١ - ٦) : عملية مسح على الشاطئ الشمالي الغربي لاسدكا . لقد ساعدت
الهليكوبتر الجوارحين في وصولهم وتجوأهم في هذه المنطقة عديمة المسارب . trackless
الصورة من ستاندارد أويل . Standard Oil Co. of California.

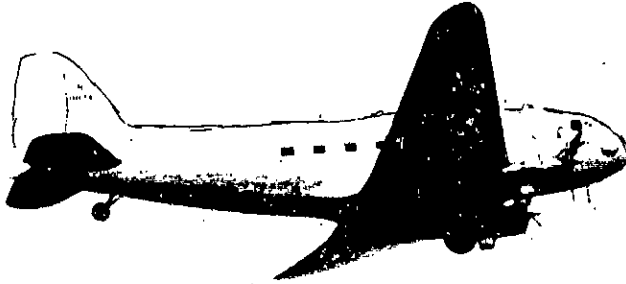


الشكل (١ - ٧) : صورة بالأشعة تحت الحمراء مع صورة جوية عائد لنفس المنطقة .
١ - صورة الأشعة تحت الحمراء تزي المناطق الحارة بلون خفيف والمناطق الباردة بلون قاتم .
والخط المفتح المتعرج هو طريق سطحتها أسود والخطوط المستقيمة جدر تفصل حقولا بها أنواع
مختلفة من الغطاء النباتي . والمنطقة المفتح عند القاع فيها انزلاق ارضي والمناطق القاتمة
مناطق صرفها سيء بين المناطق المنزقة .

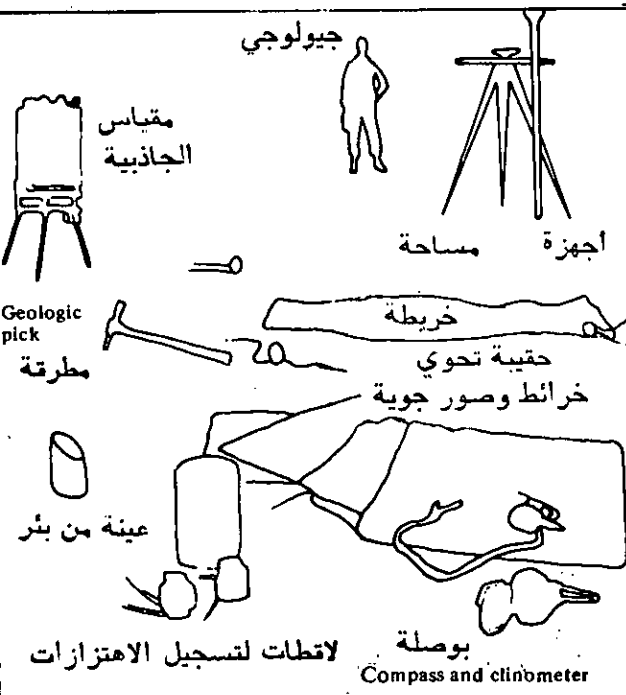
كل هذا التقدم الذي أدى إلى تسارع المسح الجيولوجي فإن أجزاء كبيرة من الأرض ما زالت بلا مسح أو أنها مسحت على نحو تقريبي استطلاعي .
وقد وسع التقدم الحديث مجال المسح الجيولوجي التقليدي ، بأن زاد من أدوات المسح . وكمثال على ذلك فإن من الممكن أن نحصل بواسطة بعض الأدوات المعتقدة على صور جوية بالأشعة تحت الحمراء أو الأمواج الحرارية بدلا من الضوء المرئي . وتستعمل هذه الخرائط لدراسة مناطق البراكين النشطة والمياه الجوفية وغيرها من مواد الدراسة (انظر الشكل ١ - ٧) . ومما يمكن الآن مسحه أمورا أخرى كمجال الأرض المغناطيسي والنشاط الإشعاعي والتيارات الحرارية والخواص الاهتزازية وكثير غيرها . وإن مسح مثل هذه المعلومات يزيد في عمق نظرة الجيولوجيين للأرض (انظر الشكل ١ - ٨) .
ومن الطرق الأخرى الواضحة التي يستعملها الجيولوجي على نطاق واسع ، الدراسة التفصيلية للصخور نفسها (انظر الأشكال ١ - ٩ ، ١٠ - ١١) .



الشكل (١ - ٧) تابع : ب - صورة جوية ترى فيها انزلاقات أرضية في الأسفل وجبالا قرب القمة . ويتحرك الانزلاق الأرضي من أسفل الصورة إلى أعلاها . من تقرير غير منشور ل ((ناسا)) بواسطة إدارة المساحة الجيولوجية للولايات المتحدة ، بواسطة ر. ي. والاس و. ر. م. مكسهم مع ج. فيدر .



الشكل (١ - ٨) : مغنيتومتر محمول جوا في حالة عمل . الصورة من شركة ابحاث
وتطور الخليج .



الشكل (١ - ٩) : جيولوجي مع بعض أدواته . فمقياس النفاثة يقيس جاذبية الأرض ، ثم
أجهزة المساحة — أما عينات الآبار فتعطي فكرة عن الصخور في الأعماق . وتساعد اللاقطات
الأرضية (geophones) والتي تستعمل في الجيوفيزياء على دراسة الصخور الظهورية . أما
البوصلة فتستعمل لقياس ميل واتجاه الطبقات . الصورة من شركة بترول ستاندارد كاليفورنيا .



الشكل (١ - ١) : دراسة عن كتب لاكتشافات الصخور على الساحل الشمالي
الغربي للإسكا .



الشكل (١ - ١١) : جيولوجي يتفحص عينة من صخر رسوبي يحوي وفرا من حطام المستحاثات . تستعمل العدسة في الميدان للدراسة وعادة ما يتبع ذلك فحوصا بالمجهر وأشعة اكس أو طرقا اخرى كثيرة في المختبر .

ويمكن عمل هذا على عدة مستويات . والجزء الاول من هذا الكتاب ينصب معظمه على ذلك . واول الطرق التي طبقت في هذا الصدد طريقة المجهـر البصري (١٥) وطريقة التحليل الكيماوي وكلاهما ما زالتا تستعملان على نطاق واسع . غير ان الطرق الاكثر حداثة مثل المجهر الالكتروني والتحليل بالاشعة السينية والتحليل الطيفي بالاشعة المرئية وتحت الحمراء والسينية والمسبار الالكترو مجهري (١٦) تمكننا الان من الدراسة التفصيلية للصخور .

اتجاهات حديثة

لقد ادت الاكتشافات الحديثة الى اتساع اهتمام الجيولوجي حتى امتد وراء حدوده التقليدية التي هي صخور سطح الارض . فبالاضافة الى ذلك ، اصبحت الجيولوجيا تهتم بالكم رغم انها ما زالت ، عندما تقارن بعلوم اخرى كالفيزياء مثلا ، تقيس الكيف . لقد ادرك الجيولوجيون الاوائل بسرعة فكرة عامة عن العمليات السطحية كالتحت مثلا . ثم ان سلما او مقياسا للزمن الجيولوجي وضع وتطور

بسرعة على يد أولئك الجيولوجيين ، واستعمل بدوره في اكتشاف تاريخ القارات . وفي الجزء الاول من القرن العشرين استطاع الجيولوجي بطريقة التأريخ بالنشاط الاشعاعي أن يختبر اقدم الصخور الارضية ، ومن ثم بدأت تتشكل مسألة اصل الارض وتاريخها الاقدم . ثم ان علوم البحار بدأت تتطور بسرعة من الحرب العالمية الثانية ، فمسحت تضاريس اعماق المحيطات . وقد ادت مكتشفات علوم البحار هذه الى توجيه التفكير الجيولوجي والى تركيز الانتباه على اسباب التراكيب الجيولوجية .

ولقد اثارت دراسة القارات بعض هذه التساؤلات . غير انها لم تقدم حلا لذلك . والتساؤلات ما زالت قائمة بلا حل الا ان المعلومات الجديدة تجعل من الممكن صياغة هذه المسائل على نحو افضل . وفي الوقت الحاضر يزودنا برنامج الفضاء بمعلومات عن اجزاء اخرى من النظام الشمسي (انظر الشكل ١-١٢) .



الشكل (١ - ١٢) : صورة مائلة لسطح القمر من على ارتفاع ٣٣٣٢ ميلا بواسطة Lunar Orbiter III وتري الصورة ملامح البراكين والاصطدام . ولقد بحث القمر في الفصل العشرين .

ويعتقد اكثر الفلكيين أن كل أجزاء هذا النظام قد تشكل في وقت واحد . ولقد اعطت هذه المعلومات الجديدة مساعدة كبرى للجيولوجيين ، مما أدى الى نشوء علم جديد هو « جيولوجية الكواكب » او الجيولوجيا الفلكية (١٧) او ربما علم الكواكب (١٨) . وان اصل النظام الشمسي الذي هو مسألة تقليدية للفلكيين ، هو ايضا جزء من الجيولوجيا . ان هذا التقدم بالاضافة الى ما قدمه الجيوفيزيائيون من تقوية حدة أدواتهم التي تسبر اعماق الارض قد وسعت نظرة الجيولوجيين حتى صرنا الان نجد الجيولوجيا والفلك وعلوم البحار والجيوفيزياء والارصاد الجوية تقترب اكثر بعضها من بعض . وان هذا التجمع العلمي هو الذي يجب ان يستعمل جميعه لدراسة الارض ككل .

هذا الكتاب

يهتم هذا الكتاب بصخور الارض الصلبة ، وبالذات تاريخها والعمليات التي كونت ملامح سطحها وتضاريسه . وبهذا المعنى فالكتاب يغطي الجيولوجيا التقليدية . ولفهم هذه الملامح لا بد من اعتبار أدلة من مجالات أخرى أوسع . وعليه فان وجهة النظر ستكون متسعة حيث أن كثيرا من المواضيع لم تظهر في كتب الجيولوجيا العامة الا قبل بضع سنوات . وعلى كل حال فان هذا الاتساع يجعل الجيولوجيا الحديثة مادة أكثر قيمة لطلاب المواد غير العلمية . وستتناول في كتابنا هذا دراسة القشرة الأرضية التي تتألف من بضعة الاميال الخارجية من سطح الأرض . وأول ما ندرس معادن هذه القشرة وصخورها لانها تخبرنا الكثير عن تركيب القشرة وعن العمليات التي تجري فيها وعلى سطحها . ثم ندرس الحت (١٩) وهي العملية المسيطرة على سطح الأرض . ويتلو ذلك دراسة تفاعل عمليات القشرة مع أجزاء الأرض العميقة ، حيث نتعلم كيف تشكلت تضاريس سطح الأرض . وسيقودنا كل هذا الى أن

نضع نموذجا كاملا للارض ، ويلي ذلك طرق التأريخ والبحث عن تاريخ الارض.
ثم ان التاريخ الجيولوجي للاردن قد وضعت خطوطه العريضة (في هذا
الكتاب) كمثال للتفسير الجيولوجي . ويتضمن الباب الاخير من هذا الكتاب
افكارا عامة عن الاحداث الرئيسية في تاريخ الحياة .

مراجع اضافية

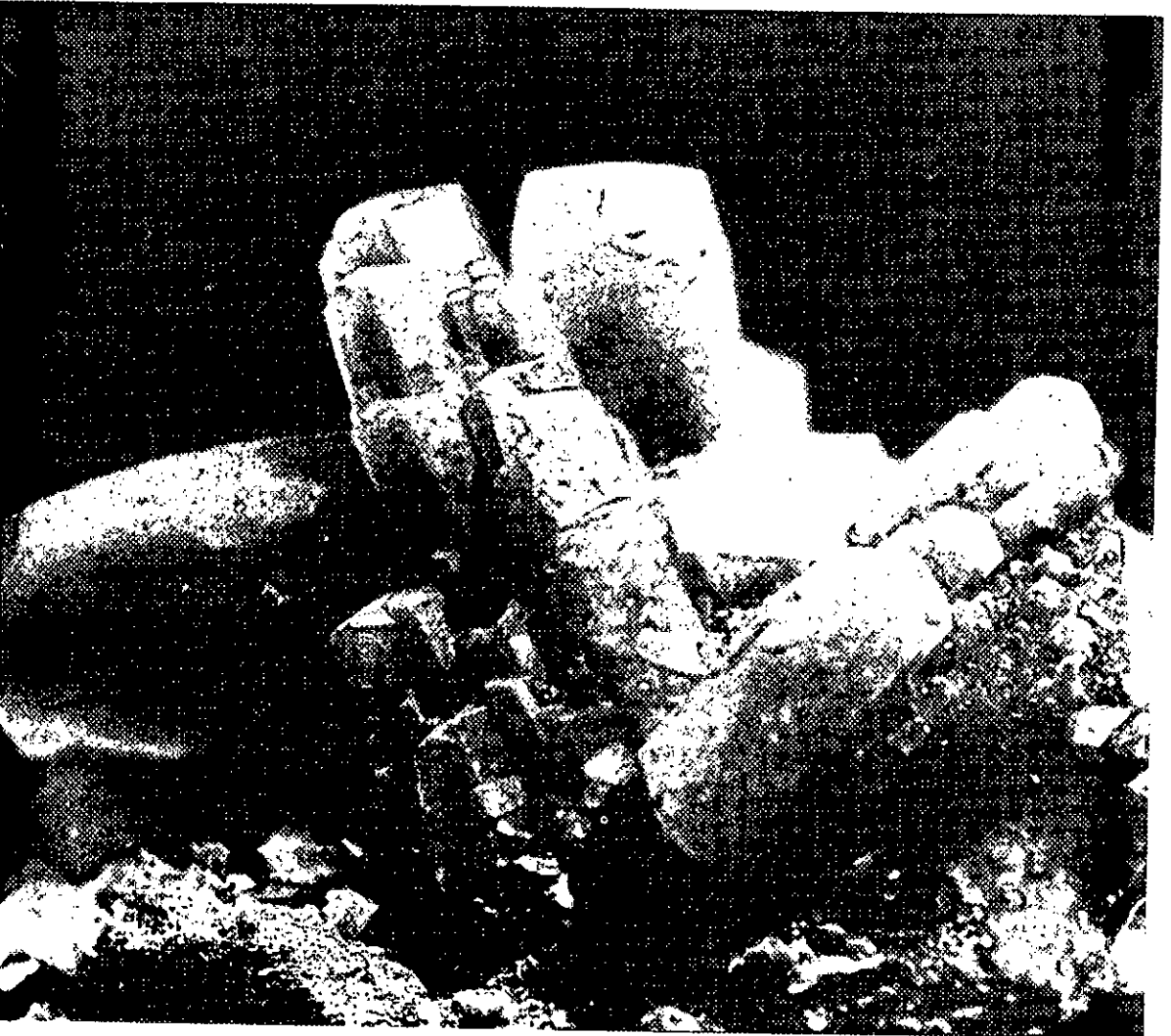
- Adams, F. D., *The Birth and Development of the Geological Sciences*. New York: Dover Publications, Inc., 1954, 506 pp. (paperback). Originally published in 1938.
- Albritton, C. C. (ed.), *The Fabric of Geology*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1963, 372 pp.
- American Geological Institute, *Geology: Science and Profession*. Washington, D.C.: American Geological Institute, 1965, 28 pp.
- Chamberlin, T. C., "The Method of Multiple Working Hypotheses," *Journal of Geology*, 1897, Vol. 5, pp. 837-848.
- Geikie, Archibald, *The Founders of Geology*. New York: Dover Publications, Inc., 1962, 486 pp. (paperback). Originally published in 1905 by Macmillan and Co.
- Gillispie, C. C., *Genesis and Geology*. New York: Harper and Row, 1951, 306 pp. (paperback).
- Mather, K. F., and S. L. Mason, *Source Book in Geology*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1939, 702 pp.
- Murray, R. C., and J. C. F. Tedrow, *Forensic Geology: Earth Sciences and Criminal Investigations*. New Brunswick, N. J.: Rutgers University Press, 1975, 217 pp.
- Roy, C. J., *The Sphere of the Geological Scientist*. Washington, D.C.: American Geological Institute, 1962, 28 pp.
- U. S. Geological Survey, *Earth Science in the Public Service*. Professional Paper 921, Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1974, 73 pp.

الفصل الثاني الذرات والعناصر والمعادن

Atoms, Elements, and Minerals

توافر العناصر
تعريفات
الأكسجين والسيليكون، وحدات البناء في المعادن المكونة للصخور
البنية الذرية
الترابط
النشاط الإشعاعي الطبيعي
النشاط الإشعاعي في الجيولوجيا
النيوترونات - الأشعة الكونية
المعادن المكونة للصخور
عائلة الفلسبار
الفلسبار البلاجيوكلازني
الفلسبار البوتاسي
عائلة الأوليفين
عائلة البايروكسين
عائلة الأمفيبول
عائلة المايكا
كوارتز
التعرف على المعادن
اللون
المخدش
الشكل البلوري
التشقق والمكسر
القساوة
الكثافة النسبية (الوزن النوعي)
الطعم والذوبان

۲



توافر العناصر

يبدو سطح الأرض عند النظرة العابرة بالغ التعقيد . فلا بد من رؤية الكثير من أنواع الصخر والتربة المختلفة المظهر . لكن هذا التعقيد ظاهري غير حقيقي ، إذ أن الفحص الدقيق قد يكشف تركيبا كيمياويا بسيطا جدا لهذا السطح . وسندرس أولا التركيب الكيماوي لقشرة الأرض .

لقد عرف الآن أكثر من (١٠٠) عنصر منها (٨٠) مستقرة (١) . وتتكون قشرة الأرض كلها تقريبا من ثمانية عناصر فقط . أما بقية العناصر فإنها تشكل أقل من ١٪ كما يبدو في الجدول (٢ - ١) وعليه فبالرغم مما يظهر من عدم تجانس قشرة الأرض فإنها ذات تركيب كيمياوي بسيط جدا . وسنبحث في الفصل العشرين عن سبب تكون قشرة الأرض من هذه العناصر . لاحظ أن كثيرا من فلزاتنا الرخيصة الشائعة مثل الكروم والنيكل والزنك والنحاس والرصاص والقصدير إنما هي نادرة الوجود في قشرة الأرض وهي جميعا تشكل حوالي ٠.٤٪ من هذه القشرة . وسنبحث في الفصلين الثالث والسادس كيف تتركز هذه العناصر فتصبح قابلة للتعدين .

وقبل أن نبحث في ما تنطوي عليه هذه المعلومات من أمور هامة علينا أن ننظر في مصادرها . فقد حسبت كل المعلومات عن كميات توافر العناصر استنادا إلى

الجدول (٢ - ١) : ممثل تركيب قشرة الأرض*

الاسم	الرمز	الوزن %	الاسم	الرمز	الوزن %	الاسم	الرمز	الوزن %
أكسجين	O	٤٦,٦٠	زركونيوم	Zr	٠,١٦٥	جاليوم	Ga	٠,٠١٥
سيليكون	Si	٢٧,٧٢	فاناديوم	V	٠,١٢٥	رصاص	Pb	٠,٠١٣
ألومنيوم	Al	٨,١٣	كلور	Cl	٠,١٣	بورون	B	٠,٠١٠
حديد	Fe	٥,٠٠	كروم	Cr	٠,١٠	براسيولينيوم	Pr	٠,٠٠٨٢
كالكسيوم	Ca	٢,٦٢	روبيديوم	Rb	٠,٠٩	ثوريوم	Th	٠,٠٠٧٢
صوديوم	Na	٢,٨٣	نيكل	Ni	٠,٠٧٥	سماريوم	Sm	٠,٠٠٦
بوتاسيوم	K	٢,٥٩	زنك	Zn	٠,٠٧٠	جادولينيوم	Gd	٠,٠٠٥٤
ماغنيسيوم	Mg	٢,٠٩	سيريوم	Ce	٠,٠٦٠	يتربيوم	Yb	٠,٠٠٢٣
تيتانيوم	Ti	٠,٤٤	نحاس	Cu	٠,٠٥٥	هافنيوم	Hf	٠,٠٠٢
هيدروجين	H	٠,١٤	بريتيم	Y	٠,٢٣	ديسبورسيوم	Dy	٠,٠٠٢
فسفور	P	٠,١٠٥	لانثانيوم	La	٠,٣٠	سيزيوم	Cs	٠,٠٠٢
مانغنيز	Mn	٠,٩٥	نيوبيوم	Nd	٠,٢٨	أربيوم	Er	٠,٠٠٢٨
فلور	F	٠,٦٢٥	كوبالت	Co	٠,٢٥	بيريليوم	Be	٠,٠٠٢٨
باريوم	Ba	٠,٤٢٥	سكانديوم	Sc	٠,٢٢	بروم	Br	٠,٠٠٢٥
سترونتيوم	Sr	٠,٣٧٥	نثرونين	N	٠,٢٠	تالتاليوم	Ta	٠,٠٠٢
كبريت	S	٠,٢٦	ليثيوم	Li	٠,٢٠	قصدير	Sn	٠,٠٠٢
كربون	C	٠,٢٠	نيوبيوم	Nb	٠,٢٠	زرنيخ	As	٠,٠٠١٨

الجدول (٢ - ١) : تابع

الوزن %	الرمز	الاسم	الوزن %	الرمز	الاسم	الوزن %	الرمز	الاسم
٠.٠٠٠٠١	Pd	بالاديوم	٠.٠٠٠٠٥	I	يود	٠.٠٠٠١٨	U	يورانيوم
٠.٠٠٠٠١	Pt	بلاتين	٠.٠٠٠٠٥	Tm	ثوليم	٠.٠٠٠١٥	Ge	جرمانيوم
٠.٠٠٠٠١	Te	تلوريوم	٠.٠٠٠٠٢	Sb	انتيموان	٠.٠٠٠١٥	W	تنگستن
٠.٠٠٠٠١	Ru	روثينيوم	٠.٠٠٠٠٢	Bi	بزموت	٠.٠٠٠١٥	Mo	موليبدينوم
٠.٠٠٠٠٥	Rh	روديوم	٠.٠٠٠٠٢	Ce	كاديوم	٠.٠٠٠١٢	Ho	هولميوم
٠.٠٠٠٠٥	Os	أوسميوم	٠.٠٠٠٠١	In	انديوم	٠.٠٠٠١٢	Eu	يوروبيوم
٠.٠٠٠٠٠٥	Au	ذهب	٠.٠٠٠٠٨	Hg	زئبق	٠.٠٠٠٠٩	Tb	تربيوم
٠.٠٠٠٠٠٣	He	هيليوم	٠.٠٠٠٠٧	Ag	فضة	٠.٠٠٠٠٥	Tl	ثاليوم
٠.٠٠٠٠٠١	Re	رينيوم	٠.٠٠٠٠٥	Se	سيلينيوم	٠.٠٠٠٠٥	Lu	لوتيبيوم
٠.٠٠٠٠٠٠١	Ir	ايريديوم	٠.٠٠٠٠٠٤	A(r)	أرغون			

سأخذ من : 46-45, pp. 1966, 3rd ed., John Wiley & Sons, Principles of Geochemistry, Brian Mason, بعد حذف بعض العناصر اسأدة والاشعة قصيرة الحياة

تقديراتها لكميات مختلف انواع الصخور ، والى تحاليلها الكيماوية . وواضح ان المهمة الرئيسية هي تقدير كميات انواع الصخور . وعلى اي حال هناك خرائط جيولوجية لاجزاء كثيرة من قشرة الارض يظهر عليها توزيع انواع الصخور . ولكن بالرغم من ذلك ، تبقى هذه التقديرات صعبة حتى ان باحثين مختلفين قد يحصلون على نتائج مختلفة . والكميات المثبتة في الجداول قابلة للمراجعة ، لكنها ترى الملامح الرئيسية العامة لتركيب قشرة الارض . اما تقديرات تركيب الارض كلها او النظام الشمسي كله فامر يختلف عن هذه اختلافا كبيرا .

جدول (٢ - ٢) : العناصر الرئيسية في القشرة الأرضية *

العنصر	الوزن %	ذريا % **	حجم % **
اكسجين	٤٦.٦٠	٦٢.٥٥	٩٣.٧٧
سيليكون	٢٧.٧٣	٢١.٢٢	٠.٨٦
الومينيوم	٨.١٣	٦.٤٧	٠.٤٧
حديد	٥.٠٠	١.٩٢	٠.٤٣
مغنيسيوم	٢.٠٩	١.٨٤	٠.٢٩
كالسيوم	٣.٦٣	١.٦٤	١.٠٣
صوديوم	٢.٨٣	٢.٦٤	١.٣٢
بوتاسيوم	٢.٥٩	١.٤٢	١.٨٣
المجموع	٩٨.٥٩	١٠٠.٠٠	١٠٠.٠٠

* مأخوذة عن : Brian Mason, *Principles of Geochemistry*, John Wiley & Sons, Inc., 3rd ed., 1966.

** محسوبة على اساس ١٠٠ % تقريبا

تعريفات

لم نبحث حتى الان الا في العناصر ، وهي اصغر وحدات في الطبيعة لا يمكن تجزئتها بالطرق الكيماوية العادية . واصغر وحدة في العنصر هي الذرة (٢). ويمكن تحطيم الذرة الى جسيمات اصغر كالالكترونات والنيوترونات والبروتونات الخ . . . ولكن تحتاج هذه العملية الى كميات كبيرة من الطاقة مما تطلقه اجهزة تحطيم الذرة مثل السيكلوترون (٣) العناصر المشعة وحدها لا تحتاج الى هذه الطاقة .

وتتحد العناصر العناصر في الطبيعة لتشكل المعادن (٤) وهذه يمكن تعريفها كما يلي : —

١ — توجد في الطبيعة مبلورة .

٢ — غير عضوية

٣ — لها تركيبات كيماوية وخواص فيزيائية في نطاق صغير محدود .

ووجب ملاحظة أن الشروط الثلاثة يجب أن تتوفر في المعدن . والمعادن مواد بلورية . اي انه يجب أن يكون لها بنية ذات ترتيب داخلي منتظم ، على النقيض من أشياء أخرى كالزجاجيات التي هي سوائل فوق مبردة . والبلورة شكل صلب محدد بمستويات ملساء تتم عن البنية المنتظمة الداخلية (انظر الشكل (٢-١٩) . لاحظ الفرق بين البلورة والبلورية . فبالرغم من أن كل المعادن بلورية الا انه ليس من الضروري أن تكون بلورات هندسية . وتتجمع المعادن في الطبيعة لتشكل الصخور (٥) وهذه يمكن تعريفها كما يلي : —

١ — انها تجمع طبيعي لحبات معدن واحد او اكثر .

٢ — هي أي جزء من قشرة الارض .

لاحظ أن هذا التعريف لا يتطلب أن تكون جميع الصخور مكونة كلية من معادن . اذ أنه توجد بعض المواد غير المبلورة في كثير من الصخور البركانية التي تبرد بسرعة كبيرة .

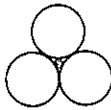
كسجين والسيليكون

وحدات البناء في المعادن المكونة للصخور

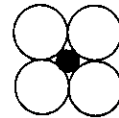
Oxygen and silicon, the building blocks
of the rock-forming minerals

لان قشرة الارض تتكون — غالبيتها من ثمانية عناصر فقد نظن لاول وهلة ان هذه العناصر الثمانية التي تشكل معظم المعادن يجب أن تكون موجودة في تجمعات كثيرة مختلفة . غير أن معظم الصخور تتكون من تجمعات قليلة محدودة من العناصر — أو المعادن . وفي الجدول (٢ — ٢) عن الحجم يظهر السبب في هذا الوضع الحسن الذي يعني أن الطالب المبتدئ لا يحتاج الا لتعلم بعض المعادن لينهم معظم الصخور .

تتكون الصخور في أكثر من ٩٠٪ من حجمها من الأكسجين ، لان ذرة الأكسجين (الايون) كبيرة الحجم نسبيا . وعليه فان عدد التجمعات الممكنة محكوم بالطرق التي تترتب فيها ذرات الأكسجين لتبني المعادن . وهذا صحيح لا سيما وانه لا يبقى لتشكيل المعدن سوى بضع ذرات اخرى . لذلك نجد انه رغم



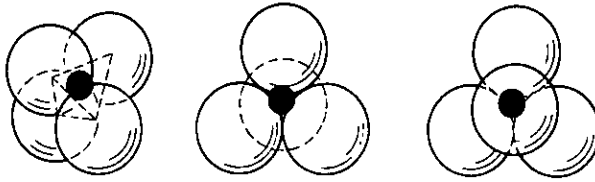
تتلاءم الذرة الصغيرة في الفراغ بين
ثلاث ذرات كبيرة .



تتلاءم الذرة الكبيرة في الفراغ بين
اربعة ذرات كبيرة .

الشكل (٢ — ١) : تحدد الحجم النسبية للذرات كيف يمكن أن تتلاءم
مع بعضها . ويبدو الذرات هنا في معدن .

ان حوالي (٢٠٠٠) معدن قد اكتشفت الا أن حوالي (٢٠) منها فقط هي الشائعة وأقل من (١٠) منها يشكل أكثر من ٩٠٪ من جميع الصخور .
وعليه فإن مفتاح فهم بنية المعادن يقع في الكيفية التي تترتب فيها ذرات المعدن (أو بالاحرى أيوناته التي هي ذرات فقدت أو كسبت الكترونا واحدا أو أكثر) .
أو بعبارة أخرى كيف أن الذرات الأخرى تتلاءم أو تترتب بين غالبية ٩٠٪ من



الشكل (٢ - ٢) : ثلاث مناظر رباعي وجوه السيليكا . الكرات الكبرى اكسجين ، والكرات الصغرى سيليكون .

ذرات الاكسجين . فمن الواضح أن حجم الذرات المعنية مقارنا بحجم ذرة الاكسجين سيقرر بنية أي معدن . هذه العلاقة موضحة في بعدين في الشكل (٢ - ١) . ويمكن حساب عدد ذرات الاكسجين التي تحيط بذرة واحدة من العنصر من علاقات هندسية بسيطة .

ومعظم المعادن التي تكون الصخور هي حسبما يبدو من جداول توافر العناصر تتكون بشكل رئيسي من الاكسجين والسيليكون معها على الغالب الألومينيوم وواحد على الأقل من (الثمانية الكبار) . وحجما الاكسجين والسيليكون هما بحيث أن أيون السيليكون الصغير يتلاءم داخل أربعة أيونات اكسجين . وهذه الوحدة (وهي وحدة البناء في المعادن السيليكاتية تسمى رباعي وجوه السيليكا ^(١)) وذلك لأننا يمكن أن نعتبر أن أربعة أيونات اكسجين تحتل رؤوس رباعي الوجوه في حين يستقر أيون السيليكون في مركزه (انظر الشكل ٢-٢) .
وتتقرر بنيت المعادن السيليكاتية بالطريقة التي بها تترتب رباعيات وجوه هذا

الأكسيد فإذا اتحد اثنان منها بزاوية فانهما يشتركان في أيون أكسجين واحد . وهذا يشكل رابطة قوية جدا . وبهذا النوع من الترابط ، ومن خلال المشاركة في الأكسجين تتشكل بنية المعادن السيليكاتية . ويرى الشكل (٢ - ٣) نماذج من البنيات الممكنة .

مثال	عدد الأكسجينات المشتركة	صيغة الوحدة المستطكون والأكسجين	
أوليفين	صفر	(SiO ₄)	١ - رباعي وجوه منفرد
أبيدوت	١	(Si ₂ O ₇)	٢ - رباعي وجوه مزدوج
تورمالين	٢	(Si ₆ O ₁₈)	٣ - حلقة
بايروكسين (أوجايت)	٢	(SiO ₃)	٤ - سلسلة
أمفيبول (هورنبلند)	٢ و ٣	(Si ₄ O ₁₁)	٥ - سلسلة مزدوجة
مايكا (مسكوفيت ، بيوتيت)	٢	(Si ₂ O ₅)	٦ - صفيحة
كوارتز ، فلسبار	٤	(SiO ₂)	٧ - بناء ثلاثي الإبعاد

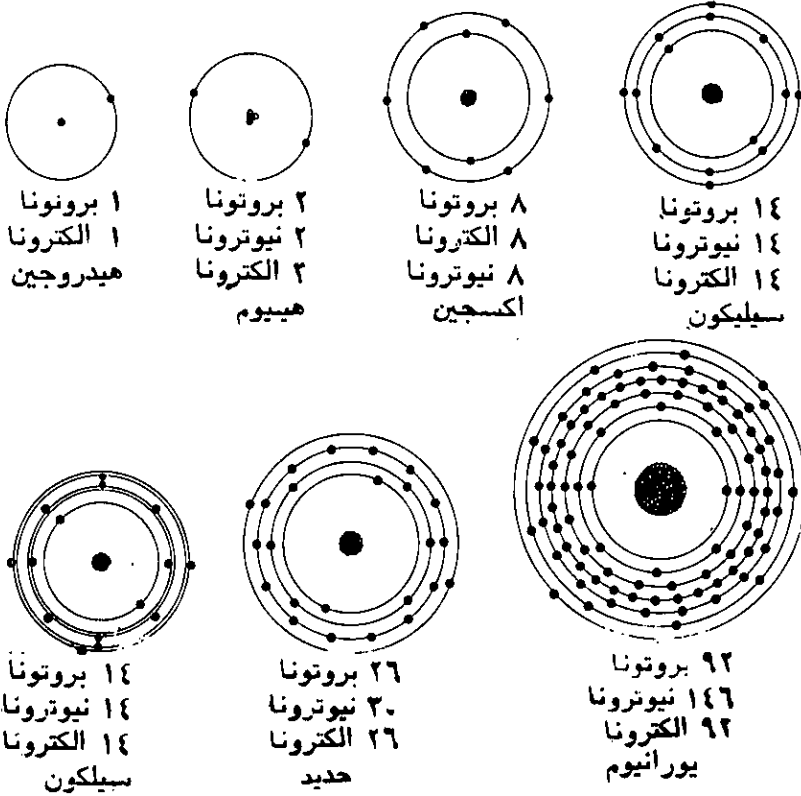
الشكل (٢ - ٣) : بنية المعادن السيليكاتية .

البنية الذرية

Atomic structure

حجم الايونات يقرر البنيان الهندسي الداخلي للمعادن وغيرها من المواد البلورية ويبقى أن نتعرف على بعض ملامح البنية الذرية ، حتى نفهم كيف تتماسك المعادن بعضها مع بعض . وهذه الدراسة ستتمكننا من فهم النشاط الاشعاعي الطبيعي وهو مصدر هام للطاقة الارضية . وسنبحث فيه في الجزء الثالث والرابع من هذا الكتاب .

تتكون الذرات من جسيمات اصغر ، وقد اكتشف الفيزيائيون جسيمات كثيرة : كـهذه ، الا اننا نحتاج لبحث بضع منها فقط . ان معظم كتلة الذرة تتركز في



الشكل (٢ - ٤) : تمثيل شكلي لبعض الذرات الشائعة . ورغم أن أغلفة الإلكترون تبدو في بعدين two dimensions في مدارات كروية . ونعوي النوى (جمع نواة) تقريبا جميع كتلة الذرات ، غير أن القطر النظري يراوح بين ١٠.٠٠٠ و ١٠٠.٠٠٠ مرة قطر النوى .

نواتها (٧) . وتتكون النواة من بروتونات ونيوترونات (الا في حالة نواة الهيدروجين فانها تتكون من بروتون واحد فقط) . والبروتونات ثقيلة وعليها شحنة كهربائية موجبة . والنواة محاطة بغشاوة من الالكترونات وهي اخف كثيرا وذات شحنة سالبة . (انظر الشكل ٢ — ٤) . والذرة في معظمها فراغ لان قطر مدار الالكترون الخارجي ، الذي هو بحجم الذرة ويعادل حوالي (٢.٠٠٠٠٠٠٠٠ ر. سم) ، يساوي قطر النواة من ٢٠.٠٠٠ الى ٢٠٠.٠٠ مرة . وعدد البروتونات مساو لعدد الالكترونات وعليه فالذرة متعادلة كهربائيا . ويحدد عدد البروتونات والالكترونات الخواص الكيميائية وبالتالي يحدد هوية العنصر . وعدد البروتونات (او الالكترونات) يدعى بالعدد الذري (٨) للعنصر . وقد تحتوي الذرة في نواتها على نيوترونات . وللنيوترون كتلة اكبر قليلا من كتلة البروتون والالكترون مجتمعين وهي كهربائيا متعادلة . وقد يتغير عدد النيوترونات في العنصر مما يشكل النظائر (٩) وتغير عدد النيوترونات في ذرة العنصر لا يغير من خواصه الكيميائية لكنه يغير كتلة الذرة . وعدد الكتلة (١٠) هو عدد النيوترونات والبروتونات في النواة . ومعظم العناصر لها نظائر طبيعية كما يبدو في الجدول (٢ — ٣) .

Bonding

الترباط

تترابط الذرات بطرق عدة لتشكل المعادن ، وفي معظم هذه الطرق تشترك الالكترونات المحيطة بالنواة . فالالكترونات لا تتوزع حول النواة بشكل عفوي الا انها تتحرك في مدارات مميزة . ويحوي كل مدار او غلاف (١١) عددا ثابتا من الالكترونات . ويظهر ذلك في بعدين في الشكل (٢ — ٤) ولكي تستوعب الالكترونات اللازمة لمعادلة بروتونات النواة قد يصل عدد الاغلفة الى سبعة وكلما زاد عدد البروتونات في النواة كلما امتلأت اغلفة الالكترونات . والغلاف الاول يحوي عندما يمتلئ الكترونين بينما يحوي الثاني ثمانية . وقد يصل

7. Nucleus

9. Isotopes

8. Atomic Number

10. Atomic Mass Number

11. Shell

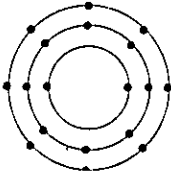
جدول (٢ - ٣) : أمثلة على النظائر الموجودة في الطبيعة

ملاحظات	الالكترونات (= عدد البروتونات)	عدد الكتلة الذرية = عدد البروتونات والنيوترونات	النواة النيوترونات	العدد الذري (= عدد البروتونات)	الرمز (*)	العناصر
الشكل العام	١	١	صفر	١	${}^1_1\text{H}^1$	هيدروجين
دونيوم	١	٢	١	١	${}^1_1\text{H}^2$	هيليوم
الشكل العام	٢	٤	٢	٢	${}^4_2\text{He}^4$	
	٢	٣	١	٢	${}^3_2\text{He}^3$	
الشكل العام	٨	١٦	٨	٨	${}^{16}_8\text{O}^{16}$	أكسجين
	٨	١٨	١٠	٨	${}^{18}_8\text{O}^{18}$	
الشكل العام	٦	١٢	٦	٦	${}^{12}_6\text{C}^{12}$	كربون
	٦	١٤	٨	٦	${}^{14}_6\text{C}^{14}$	
الشكل العام	١٩	٣٩	٢٠	١٩	${}^{39}_{19}\text{K}^{39}$	بوتاسيوم
	١٩	٤٠	٢١	١٩	${}^{40}_{19}\text{K}^{40}$	
	٨٢	٢٠٦	١٢٤	٨٢	${}^{206}_{82}\text{Pb}^{206}$	رصاص
	٨٢	٢٠٧	١٢٥	٨٢	${}^{207}_{82}\text{Pb}^{207}$	
	٨٢	٢٠٨	١٢٦	٨٢	${}^{208}_{82}\text{Pb}^{208}$	
	٩٢	٢٣٥	١٤٣	٩٢	${}^{235}_{92}\text{U}^{235}$	يورانيوم
	٩٢	٢٣٨	١٤٦	٩٢	${}^{238}_{92}\text{U}^{238}$	

* الرمز السفلي هو العدد الذري والرمز العلوي هو عدد الكتلة الذرية . في بعض الأحيان يكتب الرمز للذري الذي ينتج للنفس الواحد .

ما يحويه الثالث الى (١٨) الكترونا ، والرابع ٣٢ ، والخامس ٣٢ ، والسادس ٩ والسابع ٢ . وتتوزع الالكترونات بين الاغلفة الخارجية لاي عنصر بحيث ان الغلاف الخارجي يحوي دائما ثمانية الكترونات او اقل من ذلك . اما الاعداد الكبرى فتستوعب فقط في الاغلفة الداخلية .

والمبدأ الرئيسي في ترابط المعادن هو ان تحصل على ترتيب الكتروني مستقر يكون فيه الغلاف الخارجي ممتلئا . ويمكن الوصول الى ذلك بطرق مختلفة . واحدى الاحتمالات هي ان تكسب الذرة الكترونات او ان تخسرهما . وكمثال على ذلك ذرة في مدارها الخارجي الكترون واحد تخسره الى ذرة في مدارها الخارجي سبعة الكترونات . والايونات الناتجة أي الذرات التي فقدت أو أخذت الكترونات تحمل شحنات مختلفة ومن ثم فانها تتجاذب (انظر الشكل ٢ - ٥) .



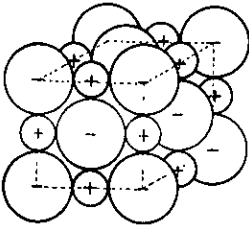
... لتصبح

أيون كلور شحنته (-١)

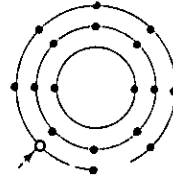


... لتصبح

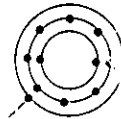
أيون صوديوم شحنته (+١)



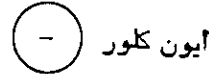
كلوريد الصوديوم



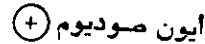
تكسب ذرة الكلور المتعادلة الكترونا واحدا



تفقد ذرة الصوديوم المتعادلة الكترونا واحدا



أيون كلور -



أيون صوديوم +

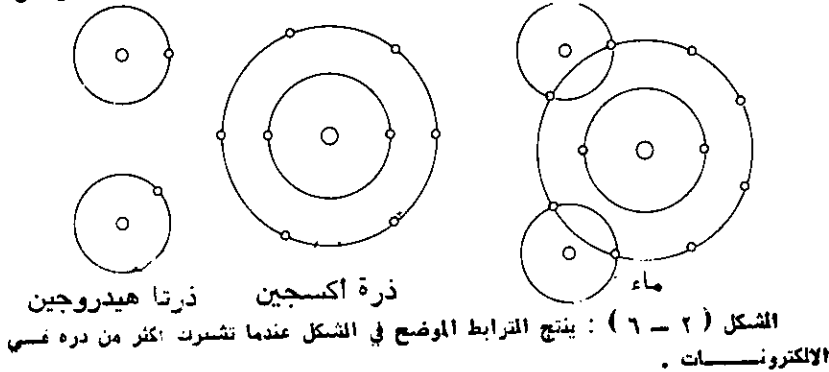
الشكل (٢ - ٥) : الترابط الأيوني . تتشكل الايونات باكمال حلقة الكترونية وذلك بكسب الالكترونات او خسارتها . وتنباسك الايونات الناتجة (تترايط) مع بعضها بعملية الجذب الناتجة عن الشحنات المختلفة .

وتسمى هذه بالرابطة الايونية (١٢) ، ومعظم المعادن تحوي هذه الرابطة الايونية .

ويمكن ملء المدار الخارجي للذرة بطريقة أخرى وهي ان تشترك ذرتان او اكثر في الالكترونات . وبهذه الطريقة فان الاغلفة الخارجية للذرات قد تمتلئ رغم ان عدد الالكترونات الكلي لا يكفي كل ذرة على حدة . وتسمى هذه بالرابطة التكافؤية (١٣) وهي موضحة في الشكل (٢ - ٦) . والماس من المعادن القليلة التي لها هذه الرابطة ، وهذا يعمل سبب قساوته . والمعادن السيليكاية تتع روابطها في منتصف الطريق بين الرابطة الايونية والرابطة التكافؤية .

والنوع الثالث الشائع من الروابط هو الرابطة الفلزية (المعدنية) (١٤) والذرات في الفلزات متراصة جيدا بحيث ان الالكترون لا يخص نواة بعينها . وهذا يسمح للالكترون بأن يتحرك بحرية خلال الفلز والى هذا يعزى سبب التوصيل الجيد للحرارة والكهرباء في الفلزات . وتوجد هذه الرابطة في بعض الكبريتيدات (١٥) وفي العناصر المعدنية (١٦) كالذهب .

ان حجم الذرات والايونات مهم جدا في تحديد بنية المعادن . فالايونات التي تختلف حجمها بحوالي ١٠٪ يمكن أن يحل بعضها محل بعض في كثير من المعادن . ومن الامثلة على هذه الازواج الايونية التي يمكن ان تحل محل بعضها السيليكون مع الالومنيوم ، والصوديوم مع الكالسيوم ، والحديد مع المغنيسيوم ، والذهب مع الفضة . انظر الجدول (٢ - ٤) والشكل (٢ - ٧) . وبالرغم



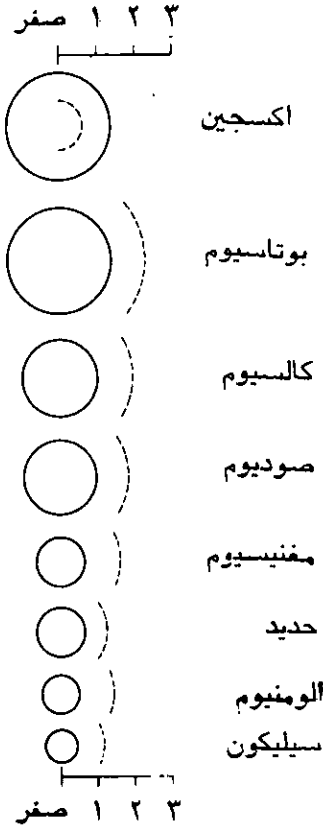
جدول (٢ - ٤) : نصف القطر الذري والايوني لبعض العناصر . لاحظ العلاقة العامة بين كسب الالكترونات أو خسارتها من جهة وبين الفرق بين نصف القطر الذري والايوني من جهة أخرى .

نصف القطر انغستروم	ايوني	عدد الالكترونات الكسبية أو المفقودة لتشكيل الايون	الايون المشكل	عدد الالكترونات في كل غلاف						العدد الذري	العنصر
				السادس	الخامس	الرابع	الثالث	الثاني	الاول		
٠.٦٠	١.٤٠	٢ كسب	O^{2-}					٦	٢	٨	أكسجين
٠.٨٦	٠.٩٧	١ خسارة	Na^{+}				١	٨	٢	١١	صوديوم
٠.٦٠	٠.٦٦	٢ خسارة	Mg^{2+}				٢	٨	٢	١٢	ماغنيسيوم
٠.٤٢	٠.٨١	٣ خسارة	Al^{3+}				٣	٨	٢	١٣	الومينيوم
٠.١٧	٠.٤٢	٤ خسارة	Si^{4+}				٤	٨	٢	١٤	سيلكون
٠.٠٤	٠.٨٥	٢ كسب	S^{2-}				٦	٨	٢	١٦	كبريت
٠.٠٧	٠.٨١	١ كسب	Cl^{-}				٧	٨	٢	١٧	كلور
٢.٣١	٠.٣٥	١ خسارة	K^{+}			١	٨	٨	٢	١٩	بوتاسيوم
٠.٩٦	٠.٩٩	٢ خسارة	Ca^{2+}			٢	٨	٨	٢	٢٠	كالسيوم
٠.٤٦	٠.٧٦	٣ خسارة	Ti^{3+}			٢	١٠	٨	٢	٢٢	تيتانيوم
٠.٤٦	٠.٧٨	٤ خسارة	Ti^{4+}			٢					
٠.٢٤	٠.٧٤	٢ خسارة	Fe^{2+}			٢	١٤	٨	٢	٢٦	حديد
٠.٢٤	٠.٦٤	٣ خسارة	Fe^{3+}								
٠.٤٤	٠.٢٦	١ خسارة	Ag^{+}		١	١٨	١٨	٨	٢	٤٧	فضة
٠.٤٤	٠.٣٧	١ خسارة	Au^{+}	١	١٨	٣٢	١٨	٨	٢	٧٩	ذهب

من أن البوتاسيوم والذهب لهما تقريبا نفس الحجم ، فانهما لا يحل احدهما محل الآخر ، وهذا عائد الى أن نوع الرابطة قد يؤثر في هذا التبادل . فالبوتاسيوم يشكل رابطة ايونية مع الاكسجين بينما الذهب يشكل رابطة تكافؤية .

وتأتي معرفتنا للبنية الداخلية للمعادن من دراسات بالاشعة السينية . فطول موجة الاشعة السينية يقع في نفس مدى حجم الذرات ، وعليه فان هذه الاشعة تنحرف بها الذرات في داخل البلورة . ويحدث هذا الانحراف لان الذرات في داخل البلورة متراسة بشكل منتظم . ولو كانت هذه الذرات مرتصة بغير انتظام لانحرفت الاشعة السينية بطريقة عشوائية . بدلا من ذلك ، فان نمط الشكل المنتظم للاشعة السينية المنحرفة يمكن أن يستعمل في تحديد بنية المعدن الداخلية . (انظر الشكل ٢ - ٨) .

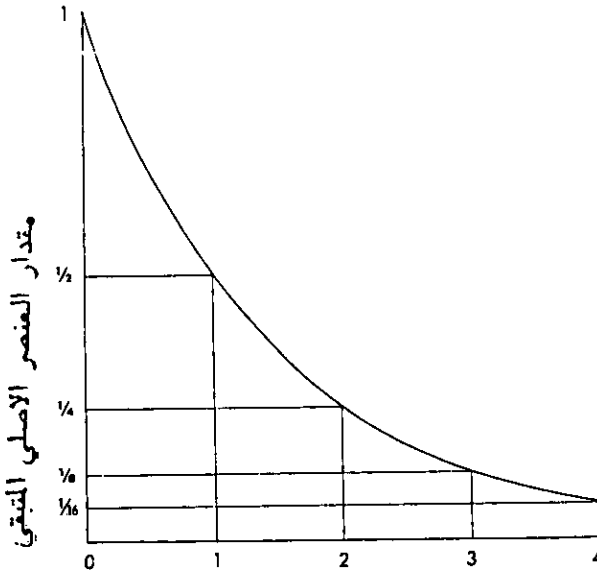
والجزء المتبقي في هذا الباب ليس مرتبطا مباشرة بعلم المعادن الذي هو موضوع هذا الفصل . وستظهر التطبيقات الجيولوجية لهذا الجزء المتبقي في



الشكل (٢ - ٧) : مقارنة هجـوم ايونات بعض العناصر الشائعة . وتوضح الخطوط المنقطعة حجـومها الذرية ، مقياس الرسم بالانفسترومات (انفستروم يعادل جزءا من عشرة ملايين جزء من المليمتر) .

سالبة الشحنة ، وهي كذلك اصغر بكثير من اشعة الفا . واقل منها كتلة .
 ان كمية الطاقة المتحررة اثناء انبعاث هذه الجسيمات تعتمد على كتلة
 الجسيم وسرعته . والنوع الاخر من الاشعاع في النشاط الاشعاعي الطبيعي
 هو اشعة جاما γ . واشعة جاما هي طاقة على شكل امواج كهربائية
 مغناطيسية . ان الضوء المرئي وامواج الراديو والاشعة السينية كلها ايضا
 طاقة على شكل امواج كهرومغناطيسية وهي تختلف فقط في تردداتها (٢٠) او طول
 موجتها . وتختلف اشعة جاما عن الاشعة السينية في التردد فقط ، حيث ان
 اشعة جاما ذات تردد اعلى نوعا ما .

وفي الانحلال الاشعاعي (٢١) تتحول ذرة احد العناصر الى ذرة عنصر اخر .
 وهذا يعني ان عدد ذرات العنصر المشع تنقص مع مضي الزمن . فاذا عرفت
 سرعة الانحلال (٢٢) فانه بقياس كمية العنصر الاولي الوالد (٢٣) والعنصر
 المولود (٢٤) فان عمر تبلور المعدن الذي يحوي العنصر الوالد يمكن ايجاده .
 وهذا هو مبدأ التأريخ بالنشاط الاشعاعي ، وهو يعمل لان سرعة الانحلال
 لا تتأثر بالحرارة او الضغط . الخ .



الشكل (٢ - ٩) :
 سرعة انحلال او النشاط
 الاشعاعي . فخلال كل
 نصف حياة half-life
 ينحل نصف الكمية
 المتبقية من العنصر المشع
 الى العنصر المولود .

20. Frequency
 21. Radioactive Decay
 22. Disintegration

23. Parent
 24. Daughter

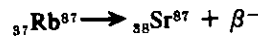
ويمبر عن سرعة الانحلال الاشعاعي بدلالة نصف الحياة (٢٥) . ففي نصف حياة واحدة (٢٦) تتلاشى نصف الذرات المشعة الموجودة لتعطى العنصر المولود . وفي نصف الحياة التالي يتلاشى نصف عدد الذرات المشعة الباقية ، وهكذا (انظر الشكل ٢ - ٩) .

ويمكن أن نفهم نتاج التحلل الاشعاعي بسهولة مما سبق من وصف النوى والجسيمات المشعة لكل عنصر يحوي عددا متساويا من البروتونات والالكترونات وعددا متغيرا من النيوترونات يقرر بالتالي نظائر ذلك العنصر . فاذا تحلل العنصر باعطاء جسيمات الفا فانه يخسر البروتونين والنيوترونين التي تكون كجسيمة الفا . وعليه فان العدد الذري ينقص بمقدار (٢) ، بينما الكتلة الذرية تنقص بمقدار (٤) كما هو موضح في المعادلة التالية

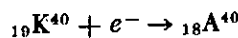


ويمكن أن نرى اشعة الفا على قرص ساعة مضيء (٢٧) كلمعان الضوء الذي ينتج كلما اصطدمت جسيمة الفا بكبريتيد الزنك على قرص الساعة ويمكن أن يرى بعدسة مكبرة في غرفة مظلمة .

وفي تحلل بيتا يفقد الكترون . ويمكن أن يفسر ذلك على انه حصل بسبب انفصال نيوترون الى بروتون والكترون ، حيث ينبعث الالكترون بسرعة كبيرة بينما يؤسر البروتون بواسطة النواة . وعليه فان العدد الذري يزداد واحدا أما الكتلة الذرية فتبقى كما هي . ويتعادل البروتون الإضافي في النواة باصطياد الكترون للغلاف الخارجي . فهناك عادة الكترونات حرة يمكن أن تصطادها الذرة . وهذا ما يجري بلغة المعادلات :



والنوع الثالث من النشاط الاشعاعي الهام جيولوجيا يحدث بواسطة اصطياد الالكترون (٢٨) ففي هذه الحالة تأخذ النواة الكترونا من واحد من الاغلفة الداخلية . ويتحد هذا الالكترون مع بروتون ليشكل نيوترونا . فينقص العدد الذري واحدا وتبقى الكتلة كما هي كما في المعادلة .



جدول (٢ - ٥) : كتلة وشحنة بعض الجسيمات والذرات . وحدة الكتلة هي وحدة الكتلة الذرية (amu) وهي مركبة على أن ذرة

الأكسجين = (١٦.٠٠٠) (amu) (الوحدة القياسية) (*) . لاحظ أن كتلة الإلكترون زائدا كتلة البروتون أقل من كتلة النيوترون .

كتلة	شحنة		كتلة	شحنة	
١٦.٠٠٠ (القياس)	صفر	^{16}O	٠.٠٠٥٤٩	١ -	الكرون
١.٨٠٠٤٨٥٥	صفر	^{18}O	١.٠٧٥٩٣	١ +	بروتون
٢.٠٤٠٣٦١	صفر	^{204}Pb	١.٠٨٩٨٢	صفر	نيوترون
٢.٠٦٠٣٨٦	صفر	^{206}Pb	١.٠٢٦٧٥	٢ +	جسيمة ألفا
٢.٠٧٠٤٠٣	صفر	^{207}Pb	١.٠٨١٤٣	صفر	^1_1H
٢.٠٨٠٤١٤	صفر	^{208}Pb	١.٠١٤٧٣٥	صفر	^2_1H
٢٣٢.١١٠٣٤	صفر	^{232}Th	١.٠١٦٩٩٧	صفر	^3_1H
٢٣٥.١١٧.٤	صفر	^{235}U	١.٠١٦٩٧٧	صفر	^4_2He
٢٣٨.١٢٤٩٣	صفر	^{238}U	١.٠٢٨٧٣	صفر	^4_2He

* (١ amu) = $\frac{1}{16}$ من وزن ذرة الأكسجين . الوزن الجزيئي للأكسجين هو (١٦) غرام حيث يوجد (٦.٠٢) $\times 10^{23}$ ذرة في الوزن الجزيئي (عدد

أفوجادرو) . وعليه (amu) $\frac{1}{16} = \frac{16 \text{ جم}}{256 \times 10^{-23}} = 1.6 \times 10^{-24}$ جرام .
 يعني (١) بعده ٢٣ صفرا ،
 يعني ١/١ بعده ٢٤ صفرا .

والتفريعات الوحيدة في سرعة التحلل الإشعاعي تحدث عندما ينجم التحلل عن اصطياح الإلكترونات اذ تتغير السرعة قليلا بتغير كمية الإلكترونات القريبة . وفي معظم انواع النشاط الإشعاعي تنبعث اشعة جاما أيضا . ان انبعاث جسيمة يمكن ان يؤدي الى تهيج النواة ، في حين ان انبعاث اشعة جاما يمكن ان يجعل الذرة تستقر . وفي كل حالة فان الكتلة تبقى ثابتة في عملية الإشعاع . وهذا يمكن ان يفسر لماذا تنبعث اشعة جاما . لاحظ في الجدول (٢ - ٥) ان كتلة النيوترون اكبر قليلا من كتلتي البروتون والإلكترون مجتمعين . ففي حالة تحلل بيتا مثلا فان السؤال هو : (اين تذهب الكتلة الزائدة عندما يتحول النيوترون الى بروتون والإلكترون ؟) والجواب ان الكتلة قد تحولت الى طاقة على شكل اشعة جاما . ان تكافؤ الكتلة والطاقة امر ذهب اليه اينشتاين (٢٩) وكل التجارب ما زالت الى الان تؤيده . ومعادلته المشهورة هي :

$$E = mc^2$$

وبكلام اخر ، فان الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع الضوء . وعلى كل حال ، فان طاقة اشعة جاما الناتجة عن تحلل بيتا اقل من كمية الكتلة المفقودة الامر الذي دعى فيرمي (٢٠) للقول بانبعث جسيمة صغيرة محايدة دعاهـا نيوترينو (٢١) . وبعد مضي سنوات كثيرة ثبت وجود النيوترينو . وهذه ليست الا واحدة من بضع عشرات جسيمات صغيرة افترض علماء الذرة وجودها . ولكن احدا لا يعلم عن كيفية تشكلها او كيف توجد في النواة ، ا على شكل جسيمات ام على شكل طاقة .

مما سبق من وصف يتضح ان كيفية الانحلال الإشعاعي ليست الا تصورات نجدها ملائمة لتفسير النتائج الاساسية .

النشاط الإشعاعي في الجيولوجيا Radioactivity in geology

يوضح الجدول ٢ - ٦ والشكل ٢ - ١٠ النظائر الطبيعية الإشعاع . لاحظ ان هناك ثلاث سلاسل اشعاعية تمر في خطوات كثيرة قبل ان يتشكل النظير

المستقر ، كما أن عددا من النظائر تتحلل في خطوة وحدة لينجم عنها نظير مستقر وبعض النظائر كالبوتاسيوم (٤٠) يتحلل بطريقتين مختلفتين الى مولوديين مختلفين . وبالإضافة الى السلاسل الثلاث الموضحة في الاشكال هنالك السلسلة النبتونية (٢٢) ، الا أن نصف الحياة في هذه السلسلة اقصر بكثير مما هو في الاخريات ، ولذا فان كميات قليلة جدا من بعض اعضاء هذه السلسلة توجد في الطبيعة . وقليلة هي النظائر المشعة طبيعيا ذات الاهمية الجيولوجية ، بعضها يصلح لتقدير العمر وبعضها يشكل مصدرا للتسخين الاشعاعي للارض . أما النظائر التي ثبت أنها نافعة جدا في التأريخ فهي الكربون (١٤) ، والبوتاسيوم (٤٠) ، والروبيديوم (٨٧) ، واليورانيوم (٢٣٥) ، والثوريوم (٢٣٢) . ان متطلبات التأريخ هي : سرعة انحلال معقولة (نصف حياة) ، والاحتفاظ بالنظائر المولودة ووجود معادن شائعة تحوي العناصر الوالدة . وأهم النظائر كمصدر للتسخين الاشعاعي فيمكن أن تحدد من النظر في الجداول التي تبين كمياتها وكمية الطاقة المنطلقة ، وكلاهما موضح في الجداول . وهذه النظائر هي اليورانيوم (٢٣٥) ، واليورانيوم (٢٣٨) ، والثوريوم (٢٣٢) ، والبوتاسيوم (٤٠) . وحساب كمية الطاقة المنطلقة من النشاط الاشعاعي أمر سهل . فلا يحتاج المرء أن يعرف سوى كتل العناصر الوالدة والعناصر المولودة وكتل الجسيمات المنطلقة (انظر الجدول ٢ - ٥) . وتخبرنا هذه المعلومات مع معادلة اينشتاين المشهورة (٢٣) (الطاقة تساوي الكتلة المفقودة مضروبة في مربع سرعة الضوء) . بكمية الطاقة المنطلقة عن انحلال ذرة واحدة من النظير الوالد . ثم تستعمل بعد ذلك سرعة الانحلال (نصف الحياة) لتحديد كم يحدث انحلال ذرة النظير الوالد . ويعطي الجدول ٢ - ٧ معلومات عن النظائر الرئيسية المنتجة للحرارة . لاحظ انه بما أن هذه النظائر كانت تنحل على مر الزمن الجيولوجي ، فان كميات اكبر منها كانت موجودة في التاريخ المبكر للارض ، ومن ثم كانت تنتج حرارة اكثر في ذلك الوقت . تذكر ايضا أن البوتاسيوم (٤٠) ، واليورانيوم (٢٣٥) كليهما له نصف حياة اقصر من اليورانيوم (٢٣٨) ، والثوريوم (٢٣٢) ، وعليه فانه يفترض انهما كانا اكثر وجودا في ذلك الوقت ، ومن ثم فقد انتجت حرارة اكبر بكثير في مراحل الارض الاولى .

جدول (٢ - ٦) : ملخص للنظائر المشعة الموجودة في الطبيعة . ليمتصن الجدول يضع نظائر لها نصف عمر طويل جدا وكمياتها قليلة جدا .
١ - تفسخ في درجة واحدة :

النظير	انحلال	نصف الحياة (بالسنوات الا اذا ذكر)	النسبة المئوية لكمية العنصر في القشرة
نيوترون ١, H ₀ كربون ١٤	${}^1_0\text{H} \rightarrow {}^1_1\text{H} + \beta^-$ ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \beta^-$ ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + \beta^-$	١٢ دقيقة ١٢,٢٦ ٥٧٠٠	٠,٠٠٠٠٠١ - ٠,٠٠٠٠٠١
بوتاسيوم ٤٠	${}^{40}_{19}\text{K} \xrightarrow{89\%} {}^{40}_{20}\text{Ca} + \beta^-$ ${}^{40}_{19}\text{K} \xrightarrow{11\%} {}^{40}_{18}\text{Ar} + \beta^-$ (electron capture)	١,٢٠ × ١٠ ^٩	٠,٠١١٨
روبيديوم ٨٧	${}^{87}_{37}\text{Rb} \rightarrow {}^{87}_{38}\text{Sr} + \beta^-$	١,٠٠ × ١٠ ^{١٠}	٢٧,٨٥
اندوميوم ١١٥	${}^{115}_{49}\text{In} \rightarrow {}^{115}_{50}\text{Sn} + \beta^-$	١,٢١٠ × ٦	٦٥,٧٢
لانثانيوم ١٣٨	${}^{138}_{55}\text{Ce} \xrightarrow{85\%} {}^{138}_{56}\text{Ba} + \beta^-$ ${}^{138}_{55}\text{Ce} \xrightarrow{15\%} {}^{138}_{56}\text{Ba} + \beta^-$ (electron capture)	١,١٠ × ١٠ ^٩	٠,٠٨٩
ساماريوم ١٤٧	${}^{147}_{62}\text{Sm} \rightarrow {}^{147}_{60}\text{Nd} + \beta^-$	١,١٠ × ١٠ ^{١٠}	٢,٥٢
لوتيتيوم ١٧٦	${}^{176}_{71}\text{Lu} \xrightarrow{99\%} {}^{176}_{72}\text{Hf} + \beta^-$ ${}^{176}_{71}\text{Lu} \xrightarrow{0,1\%} {}^{176}_{70}\text{Yb} + \beta^-$ (electron capture)	١,٠١٠ × ٢١	٢,٥٦
رينيوم ١٨٧	${}^{187}_{75}\text{Re} \rightarrow {}^{187}_{76}\text{Os} + \beta^-$	١,٠١٠ × ٤	٦٢,٩٣

ب - تنسخ في درجات :

ان جميع النظائر التي يزيد عددها الذري عن ٨٣ مشعة ، وجميع هذه التي توجد في الطبيعة هي اعضاء في ثلاث عائلات مشعة مدونة ادناه . وبعض النظائر التي يقل عددها الذري عن ٨٣ تقع ايضا في العائلات . ويرى (الشكل ٢ - ٩) الانحلال الكامل لهذه العائلات .

النظير	انحلال	نصف الحياة	النسبة المئوية لكمية العنصر في القشرة :
يورانيوم ٢٣٥	${}_{92}\text{U}^{235} \rightarrow {}_{82}\text{Pb}^{207} + 7\alpha + 4\beta$	7.1×10^8 ا	٠.٧٢
يورانيوم ٢٣٨	${}_{92}\text{U}^{238} \rightarrow {}_{82}\text{Pb}^{206} + 8\alpha + 6\beta$	4.5×10^9 ا	٩٩.٢٨
ثوريوم ٢٣٢	${}_{90}\text{Th}^{232} \rightarrow {}_{82}\text{Pb}^{208} + 6\alpha + 4\beta$	1.4×10^{10} ا	١.٠

وفي الارض تتحول الطاقة المنبعثة من النشاط الاشعاعي بشكل رئيسي الى حرارة . وكل نوع من الاشعاعات يتصرف بشكل مميز . فجسيمات الفا البطيئة الثقيلة توقف بصحيفة من الورق ، لكن تأثيرها مدمر جدا . انها تغطي بعضا من طاقة حركتها للالكترونات ولنقلها قد تزعزع الذرة بأجمعها .

اما جسيمات بيتا فانها اكثر سرعة واقل وزنا . ان لها قدرة على الاختراق تزيد مائة مرة على جسيمات الفا ، ولكنها اقل مئة مرة في قدرتها التخريرية . وبما ان هذه الجسيمات لا تؤثر في النوى بسبب خفتها الزائدة ، فانها تفقد طاقتها حركتها بتفاعلها (٢٤) مع الالكترونات . واشعة جاما تسير بسرعة الضوء وليس لها كتلة . ان لها قدرة على الاختراق تزيد مئة مرة على قدرة جسيمات بيتا الا انها اقل تدميرا بكثير . وهي كجسيمات بيتا لا تؤثر (٢٥) الا في خلخلة الالكترونات . والحرارة عبارة عن حركة جزيئية ، ولذا فان الاثر الرئيسي للاشعاع هو تسخين المحيط وذلك باعطاء (٢٦) الحركة للالكترونات والذرات . اما الاثار الاخرى فمنها احداث الضرر في الشبكة البلورية (٢٧) وزيادة الطاقة الكامنة وذلك بنقل الكترونات من غلاف الى غلاف اخر . وستبحث هذه المظاهر الاقل اهمية فيما يلي .

ويجب ان يكون واضحا ان اشعة جاما فقط هي الاشعة ذات الطاقة العالية

والقدرة على الاختراق العميق ، ومن ثم فإن معظم مسابير الاشعاع (٢٨) تعمل بشكل رئيسي على اشعة جاما . اما اشعة الفا فتستطيع (٤) بوصات من الهواء ان تمتصها ، بينما تمتص اشعة بيتا بحوالي ياردة من الهواء تقريبا ، واما اشعة جاما فانها تسير حوالي ١/٢ ميل في الهواء . وتستطيع بوصة أو اقل من الصخر امتصاص اشعة الفا وبيتا ، بينما تسير اشعة جاما اكثر من قدم في الصخر . ولا بد من اخذ هذه النقاط بعين الاعتبار في التقيب عن خامات المعادن المشعة . ويرى الشكل ٢ — ١١ احدى طرق التحري الاشعاعي .

وتتضرر أو تتخرب البنية البلورية للمعادن الحاوية على عناصر تشعع جسيمات الفا بسبب انطلاق هذه الجسيمات ، وخصوصا اذا كان في المعدن روابط ضعيفة .

وفي حالات اخرى نجد اشعة الفا تغير الالوان . وهذا يمكن أن يؤدي الى تكون الكوارتز الرمادي (او المدخن) ، أو الفلورايت البنفسجي أو ملح الطعام

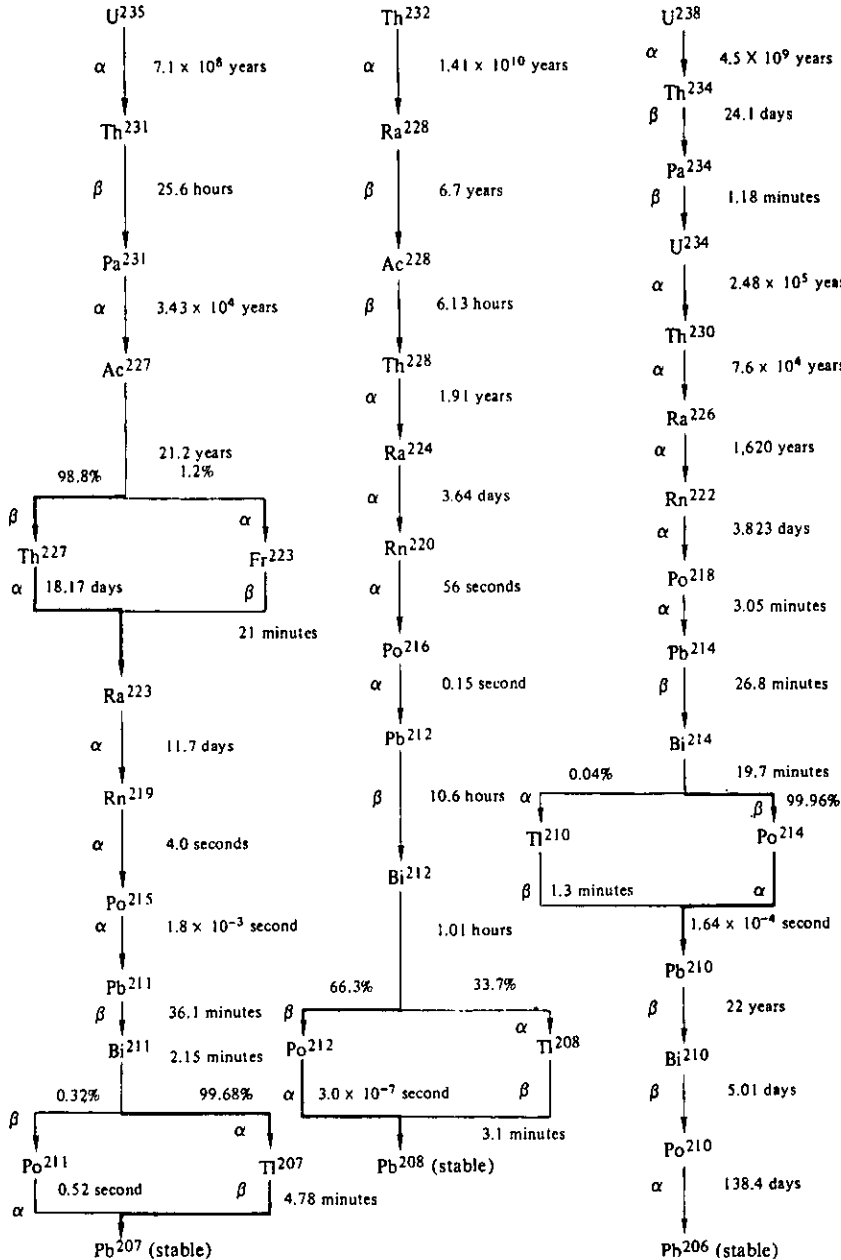
جدول (٢ — ٧) : الفنتاج الحراري الاشعاعي في الصخور . عندما نشأت الارض قبل (مر) بليون سنة كانت العناصر المشعة قصيرة النصفية أكثر وجودا ومن ثم انتجت حرارة أكثر منه الآن . الوحدات المستعملة . ١ — سعرا في الثانية لكل غرام من الصخر .

نظائر مشعة	الآن	قبل ٤ بليون سنة	الآن	قبل ٤ بليون سنة
يورانيوم ٢٣٨	١٢٦٥	٣٢٢	١٣٤	٢٦٨
يورانيوم ٢٣٥	٠.٤٦	٣٧٥	٠.٦	٤٧٤
ثوريوم ٢٣٢	١١٤٧	١٤٤	١٦٧	٢١٠
بوتاسيوم ٤٠	٣٣٠	٤.١	٤٣	٨٨٩
المجموع	٢٥٨٣	١١٤	٣٨٠	١٨٤١

* مأخوذة عن :

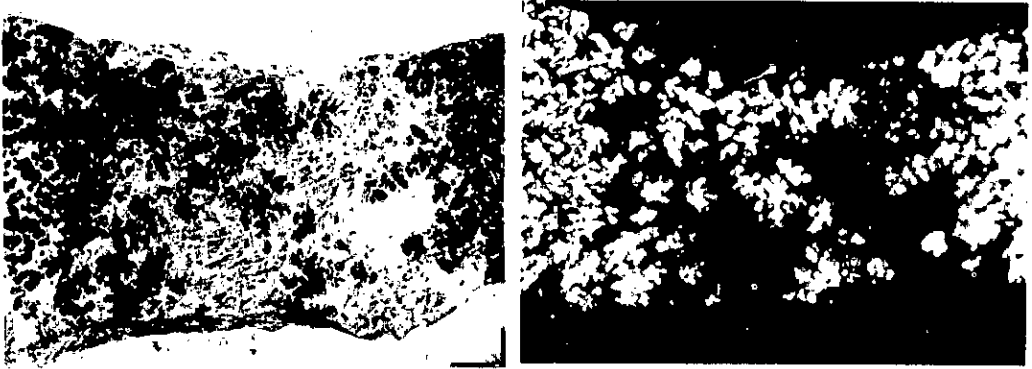
J. W. Winchester, "Terrestrial heat flow, radioactivity, and the chemical composition of the earth's interior," Journal of Geological Education, Vol. 14, No. 5, December, 1966, pp. 200-204.

الاصفر او الازرق . واشعة بيتا تغير أيضا ألوان بعض المعادن . ومن الامثلة الشائعة الى الضرر الناتج من أشعة الفا وجود الهالات او الحلقات التي تحيط



الشكل (٢ - ١) : مخططات انحلال اليورانيوم ٢٣٥ واليورانيوم ٢٣٨ والثيريوم ٢٣٢ . ويرى الشكل أيضا نوع الانحلال ونسب التشعب *branching ratios* ونصف الحياة .

عادة بلورات المعادن المشعة الصغيرة . وتوجد هذه البلورات الصغيرة عادة محتواه في معادن تشكلت فيما بعد ، والهالات السوداء شائعة في المايكا . وتطلق معادن اليورانيوم والثوريوم جسيمات الفا حاملة مقادير مختلفة من الطاقة ، وبما ان هذه الجسيمات تقوم بالضرر الاكبر عند نهاية حركتها ، وبما ان المسافة المقطوعة تتحدد بكمية الطاقة على الجسيمة ، فانها تشكل سلسلة من الهالات المتحددة المركز (انظر الشكل ٢ - ١٢) . ان كمية الضرر الذي يحصل للمعدن

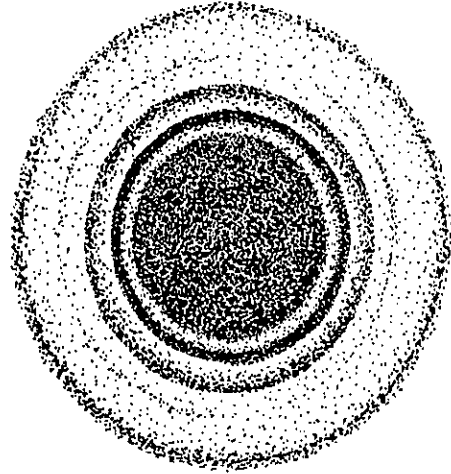
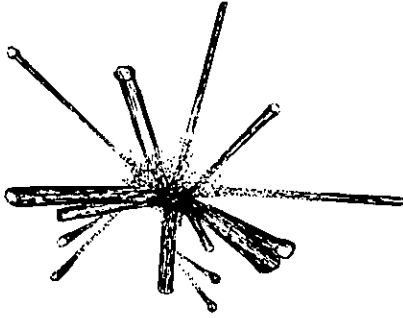


الشكل (٢ - ١١) : معدن اليورانيت *uraninite* ١ - صورة عادية ب - صورة شعاعية ذاتية *An autoradio-graph* عملت بوضع فيلم تصوير عادي بجانب المعدن في غرفة مظلمة . يؤثر اشعاع اليورانيت على الفيلم بالرغم من ان ضوءا مرئيا لا يصل الى الفيلم . ويمكن عمل ذلك بدون غرفة مظلمة وذلك بان يلف الفيلم بورقة قاتمة *opaque* (غير منفذة للضوء العادي) وان يوضع المعدن مسطحا فوق الفيلم . ولا بد ان يعرض الفيلم بضعه اسابيع على وجه العموم .

الصورة من *Ward's Natural Science Establishment, Inc. Rochester, N. Y.*

سماكة لونه واسودادها) يمكن ان يستعمل لحساب عمر المعدن ، غير ان هذه الطريقة في التاريخ لم تنجح الا قليلا . وينحل اليورانيوم ٢٣٨ ايضا عن طريق الانشطار الانى بسرعة ابطأ بكثير من سرعة اندلال الفا . ان جسيمات الانشطار ذات الطاقة العالية المنطلقة بهذه الطريقة تسبب اضرارا كبيرة للبلورة التي تحويها (الجسيمات) . ويمكن بالتكبير العالي ان ترى مسارات مثل هذه الجسيمات في داخل بعض المعادن . والمسار انبوب صغير يكاد يشبه ثقب الرصاصة (انظر شكل ٢ - ١٣) . فاذا عددنا هذه الانابيب فان عدد مرات الانحلال الانشطارية التي حصلت يمكن ان يحدد . ثم ان عدد ذرات اليورانيوم

المتبقية (اليورانيوم مصدر الجسيمات) يمكن ان تحدد عن طريق التحليل
الآلي ، وعليه فانه يمكن حساب عمر ذلك المعدن .



الشكل (٢ - ١٣) : خطوط انشطار

قديمة *Fossil fission tracks*

تنتج الانابيب من جسيمات مشعة ذات طاقة
عالية خارجة من المعدن في المركز . وتشبه
الانابيب نقوب الرصاصة . ويبلغ طول الانابيب
الطويلة حوالي واحدا من مائة من المليمتر .

الشكل (٢ - ١٢) : هالة اشعاعية:

تري هذه الهالات عادة بلورات البوتاسيوم
(مايكا سوداء) حيث تحيط ببثورات صغيرة
من المعادن المشعة مثل معدن اليورانيات .
والحجم الامثل اقل من عشر المليمتر .

ويمكن للاشعاع ان يزيد من طاقة الذرة وذلك بتحريك الكتروناتها الى اغلفة
مدارية مختلفة او بتمكينها من اصطياد الكترونات اخرى آتية من جسيمات الفا
او من الكترونات ذرات اخر . تذكر ان كل الكترون يعود الى غلاف معين . ويمكن
لهذه الطاقة ان تتحرر وذلك عن طريق ترك هذه الالكترونات لتغفلت من الذرة
نهائيا لتعود الى اغلفتها الاصلية . ومن الطرق التي تستعمل في ذلك تهيج الذرة
بالتسخين . فتتحرر الطاقة على شكل ضوء . ويحتاج التفسير الكامل لهذه
الظاهرة الى عمق اكبر في معرفة بنية الذرة . وبما ان كمية الطاقة المخزنة
تعتمد على طول الوقت الذي يتعرض فيه المعدن للاشعاع ، فان عمر بعض
المعادن يمكن ان يحدد بقياس كمية الطاقة المخزنة . الا ان هذه الطريقة في التأريخ
لم تثبت دقتها حتى الان ويمكن رؤية مثل هذه الظاهرة عند تسخين معدن
الفلورايت في اناء في غرفة مظلمة .

النيوترونات - الاشعة الكونية

Neutrons—cosmic rays

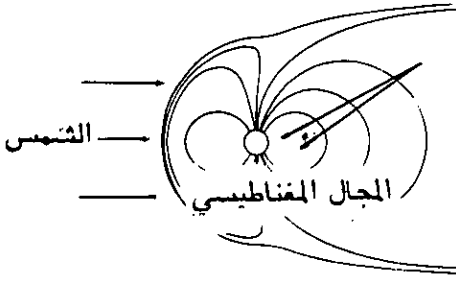
وليكتمل فهمنا للاشعاع الطبيعي لا بد من النظر في جسيم اخر ذلك هو — النيوترون . والنيوترون مهم بشكل خاص لدوره الاساسي في القنابل الذرية والنووية . اما مصدر النيوترونات الرئيسي في الطبيعة فهي الاشعة الكونية (٣٩) .

وسننظر هنا في بضع تفاعلات فقط من تفاعلات النيوترون المحتملة المتوقع . ان الاشعة الكونية الاولى نوى ذرات مفقدت الكتروناتها تسير بسرعة الضوء تقريبا . وهي بشكل رئيسي هيدروجين وهيليوم ، ولكن معظم العناصر الاخرى موجودة فيها بكميات قليلة . وهي تزداد كلما ارتفعنا في الجو مما يشير الى انها آتية من الفضاء الخارجي . ولا يتغير عددها كثيرا بين الليل والنهار ، لذا فانها ليست آتية من الشمس . ويعتقد بأن هذه الذرات آتية من نجوم متفجرة (٤٠) ، وانها تتسارع الى مستويات عالية جدا من الطاقة بواسطة مجالات مغناطيسية ترافقها .

وتصطدم الاشعة الكونية الاولى بذرات الغاز المكون لغلاف الارض الهوائي، منتجة اشعة كونية ثانوية . وهذه الاخيرة ليست الاجسيمات طردت (٤١) من ذراتها ، وتتألف من نيوترونات وبروتونات وجسيمات اخرى . والنيوترونات الموجودة خارج النواة غير مستقرة بل تنحل الى بروتون وجسيمة بيتا بنصف عمر يساوي ١٢.٨ دقيقة . ويستطيع كل شعاع كوني اولي ان ينتج عددا من الاشعة الكونية الثانوية ، وهذه بدورها تنتج اشعة كونية اخرى وهكذا . والاجيال المتتالية من هذه الاشعة تتناقص طاقاتها . وعلى كل حال فان الاشعة الاولى وبعض الجسيمات التي تتشكل مبكرا ذات قدرة اختراق كبيرة . ولان النيوترونات ليست مشحونة كهربائيا فانها ذات قدرة اختراق كبيرة ، ومن ثم فانها لا تنحرف بالبروتونات او الالكترونات .

وتتشكل بعض نوى الاشعة الكونية الاولى الاقل طاقة حزاما اشعاعيا حول

الارض يدعى حزام فان الن (٤٢) . وهذه النوى تتحرف بتأثير مجال الارض المغناطيسي لانها مشحونة . والذي ينتج من ذلك هو ان بعض هذه الجسيمات المشحونة ذات الطاقة القليلة تتحرك في مسار حلزوني حول خطوط القوة في مجال الارض المغناطيسي . وتتحرك هذه الجسيمات في هذا المسار من قطب الى قطب ذهابا وعودة (انظر الشكل ٢ - ١٤) . اما الاشعة الاكثر طاقة فان لها القدرة على اختراق المجال المغناطيسي وهي الاشعة الكونية الاولى التي بحثت اعلاه .

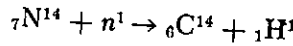


الشكل (٢ - ١٤) :
مجال الارض المغناطيسي
وحزمة (انطقة)
الارض الاشعاعية .

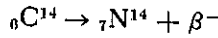
وبالاضافة الى الاشعة الكونية ، هناك جسيمات آتية من الشمس تؤثر في الارض . وهذه الجسيمات هي بروتونات والكترونات . ورغم انها تطلق بشكل مستمر وثابت من الشمس ، فانها تطلق بكميات اكبر في بعض الاحيان . وهذه هي اوقات النشاط الشمسي الشديد وهي تتطابق مع نشاط البقع الشمسية الشديدة والالق الشمسي . ولان هذه الجسيمات المشحونة تحدث اضطرابا في مجال الارض المغناطيسي فان هذه الاحداث تسمى عواصف مغناطيسية . ومثل هذه التغيرات يؤثر في حزام الارض الاشعاعي كما يؤثر في الاتصالات بالراديو . وتتبع هذه الجسيمات ايضا خطوط القوة في مجال الارض المغناطيسي ومن ثم فانها تقع قرب القطبين المغناطيسيين . وان التفاعل بين هذه الجسيمات وبين ذرات الاكسجين والنيتروجين في طبقات الجو العليا هو الذي يسبب الهالات (٤٣) أي الاضواء الشمالية والجنوبية . ويمكن أن تشبه

هذه العمليات بعض التيار الكهربائي على غاز النيون الذي ينتج الضوء الاحمر في اعلانات النيون .

ولا يهمننا جيولوجيا من الاشعة الكونية الا النيوترون . ان اصطدام نيوترون بذرة نيتروجين يطرد منها بروتونا خارج النواة ، ويحولها الى ذرة كربون ١٤ .



والكربون ١٤ مشع وينحل بانبعث جسيمة بيتا الى نيتروجين ١٤

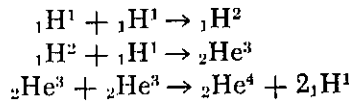


ويستفاد من هذا التفاعل للتأريخ بطريقة الكربون ١٤ .

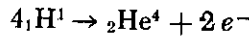
ولقد اصبح بالامكان تأريخ الشهب (٤٤) بواسطة الاشعة الكونية فعندما تصدم الاشعة الكونية ذرات حديد ينتج الهيليوم ٣ . وعليه فان كمية الهيليوم ٣ تكشف عن المدة التي وقع فيها الشهاب الحديدي تحت تأثير الاشعة الكونية . ولقد لوحظ هذا الاثر اولا عندما بدأت المحاولات لتأريخ الشهب بقياس كمية الهيليوم الناتجة عن انحلال الفا . فلقد وجدت كمية هيليوم اكثر مما يتوقع ، وكشف التحليل عن هيليوم ٤ ناجم عن فعالية الفا وهيليوم ٣ عن فعالية الاشعة الكونية . ومما اكتشف ايضا ان كمية الهيليوم ٣ كانت اكثر تركيزا بالقرب من سطح الشهاب وتقل نحو المركز ، كما يمكن ان يتوقع من فعالية الاشعة الكونية . ولقد لوحظت اثار مشابهة مع نظائر اخرى (غير الهيليوم ٣) تشكلت من جراء القذف بالاشعة الكونية . وهكذا فان الطريقة العادية في التأريخ بالنشاط الاشعاعي تخبرنا متى تبلور الشهاب ، ولكن التأريخ بواسطة الاشعة الكونية يخبرنا متى انفصل ذلك الجسم ليشكل شهابا .

ان المبدأ المستعمل في تحولات الاشعة الكونية هذه هو الذي يستعمله الفيزيائيون النوويون . ولقد نجحوا في عمل هذه النظائر بواسطة قذف الذرات بجسيمات ذات سرعة عالية مثل جسيمات الفا والالكترونات والنيوترونات . ولقد صنعت نظائر مشعة لكل العناصر تقريبا .

وتأتي الطاقة المستعملة في العمليات الجيولوجية في آخر الامر من الذرة . فان النيوترونات هي التي تسبب انقسام الذرة او انشطارها فتنتطلق النيوترونات من ذرة اليورانيوم ٢٣٥ الكبيرة غير المستقرة عندما تنشط ، وبهذا يصير بالامكان انشاء تفاعل متسلسل متصل . اما اليورانيوم الطبيعي فيحتوي على ٧٪ فقط من اليورانيوم ٢٣٥ . فان ٩٩.٣٪ يورانيوم ٢٣٨ الباقية تمتص النيوترونات الناتجة وبذلك تمنع التفاعلات المتسلسلة في الطبيعة . وعليه فانه يجب تركيز اليورانيوم ٢٣٥ في القنبلة الذرية ليزيد على الكتلة الحرجة حتى لا تهـرب النيوترونات . والعملية المعاكسة للانشطار هي الالتحام (٥) اي تكوين ذرة ثقيلة من ذرات اخف . وهذه هي العملية التي تطلق الحرارة في الشمس والنجوم الاخرى والمثال على ذلك



وباختصار فالفاعل الاجمالي هو :



وتحدث هذه التفاعلات على درجات حرارة عالية جدا تقدر ببضعة بلايين من الدرجات . ومثل هذه الدرجات تحصل في قنبلة اليورانيوم الذرية . اما القنبلة الهيدروجينية (التي هي نتاج عملية التحام) فتنشكـل من اضافة ديوتيريوم (${}_1\text{H}^2$) وتريتيوم (${}_1\text{H}^3$) الى قنبلة اليورانيوم منتجة ما يدعى بالتدبير النووي الحراري .

المعادن المكونة للصخور

Rock-forming minerals

لقد أصبحت دراسة المعادن (وهي المواد الطبيعية المكونة من ذرات) ممكنة بعد هذه المقدمة عن الذرات وعن بنيتها . ان المعادن الرئيسية المكونة للصخور هي السيليكات ، وهي المعادن التي تتحد فيها عناصر مثل الحديد ، والمغنيسيوم ، والصوديوم ، والكالسيوم ، والبوتاسيوم بالالومنيوم والسيليكون والاكسجين . وسنذكر هنا كيف يمكن التعرف عليها غير أن ذلك سيبحث بتفصيل اكبر في القسم التالي من هذا الفصل . أما بنيتها فهي موضحة في الشكل ٢ — ٣ .

Feldspars

عائلة الفلسبار

وهي اكثر المعادن وجودا . وتتكون من صوديوم وبوتاسيوم ، و كالسيوم ، متحدة مع السيليكون والالومنيوم والاكسجين . وهناك مجموعتان رئيسيتان من الفلسبار ، تصحان اكثر تعقيدا بمزجهما .

Plagioclase feldspar

أ - الفلسبار البلاجيوكلازي

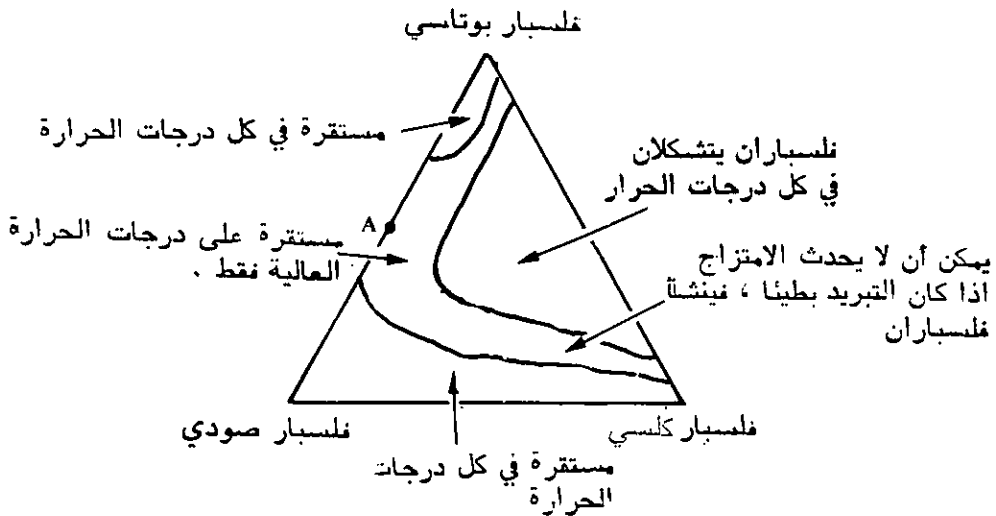
وهي مثال على السلسلة المتصلة من المعادن (٦) فالبلاجيوكلاز عالي الحرارة كلسي (٧) بينما المنخفض الحرارة صودي (٨) ويمكن أن تتشكل سلسلة متصلة من البلاجيوكلاز المتوسط تحوي الصوديوم والكالسيوم . ويعتمد ذلك على درجة الحرارة وتركيب المادة الاولية المنصهرة . ويعتبر ذلك ممكنا لان حجم ايون الكالسيوم وايون الصوديوم متساويان تقريبا . ويتبادل الالومنيوم والسيليكون اماكنهما لان حجميهما متساويان تقريبا . ويجب استعمال المجهر لمعرفة كمية الصوديوم والكالسيوم في البلاجيوكلاز .

Potassium feldspar, $KAISi_3O_8$

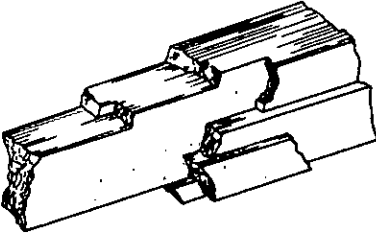
ب : الفلسبار البوتاسي

وهي المجموعة الثالثة والاكثر تعقيدا في عائلة الفلسبار . ولقد تعرف الباحثون على عدة انواع منها . ولا بد من استعمال المجهر او الاشعة السينية لتحديد لها . ويمكن استيعاب كمية محدودة من الصوديوم في الفلسبار البوتاسي بالرغم من الاختلاف في حجم الايونات . وتزداد عملية المزج المحدودة هذه تعقيدا من حيث ان درجة حرارة التشكل تتحكم في عملية المزج (انظر الشكل ٢ — ١٥) .

وفي درجات الحرارة المرتفعة (١٨ هو الحال في الصخور البركانية) فان أي مزيج للصوديوم والبوتاسيوم يمكن الوقوع ويمكن المحافظة عليه بالتبريد السريع . اما التبريد البطيء فانه سيسمح للفلسبار الصودي والفلسبار البوتاسي بأن يفترقا وذلك في الخلوط المتوسطة . وفي بعض الصخور نجد عملية الفصل تكون تامة وينشأ شكلان متميزان من البلورات لكن في كثير من الاحوال فان نوعي الفلسبار يتداخلان في نموها ويشكلان البيرثايت (١٩) . وتتميز معادن الفلسبار بلونها الفاتح ، وقساوتها (٦ =) ويشقي انفصام يتقاطعان على زاوية قائمة تقريبا . وتتميز البلاجيوكلاز بوجود خطوط (٥٠) في أحد شقي الانفصام (الشكل ٢ - ١٦) . ويظهر البيرثايت بعروق مرقطة غير منتظمة ذات ألوان مختلفة (الشكل ٢ - ١٧) .



الشكل (٢ - ١٥) : يوضح مثلث التركيب الميموي هذا المخاليط mixtures المحتملة للفلسبارات الثلاث ودرجات استقرارها stability . ولقد بني الشكل على معلومات تجريبية. اما التركيب الكيميائية composition المكونة للجانب الأيسر من الشكل فهي شائعة في صخور الغرانيت التي ستدرس في الفصل التالي . ويقع الفلسبار المكون من ٥٠٪ بلاجيوكلاز صودي و ٥٠٪ فلسبار بوتاسيوم على النقطة A في الشكل .



الشكل (٢ - ١٦) : تظهر خطوط striations البلورية كالأز على واحد من اتجاهي الانقسام فقط .



الشكل (٢ - ١٧) : البيرثايت - Perthite مظهر مبرقش mottled كنتيجة لعدم امتزاج الفلسبارات المتداخلة النمو .

Olivine, $(Mg,Fe)_2SiO_4$,

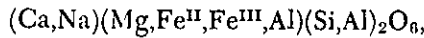
عائلة الاوليفين

وهي أبسط أنواع المعادن الحديدية المغنيسية أو المعادن ذات اللون القاتم . ويعني القوس الموجود في الصيغة اعلاه أن الحديد والمغنيسيوم يمكن أن يحلا محل بعضهما بكل النسب لأن لهما نفس الحجم . ويتشكل الاوليفين المغنيسي على درجات حرارة اعلى من الاوليفين الغني بالحديد . توجد الاوليفين عادة على شكل بلورات صغيرة مستديرة ، وبسبب فسادها فانها تعطي درجة تساوة كاذبة اقل من الصحيح . ويمكن أن تعرف بلونها الاخضر الزيتوني المميز .

Pyroxene

عائلة البايروكسين

تتألف هذه العائلة من مجموعة كبيرة ومعقدة من المعادن . وبهنا في هذه العائلة معدنها الاساسي وهو معدن الاوجايت (٥١)



وتوضح صيغته المعقدة مدى الاحتمالات المتوقعة في تركيبه الكيماوي . وهو يعرف عادة بلونه القاتم ودرجة تساوته التي تساوي من خمسة الى ستة وشقن الانقسام الذين يلتقيان على زاوية قائمة تقريبا .

Amphibole

عائلة الامفيبول

وهي عائلة اخرى من المعادن كبيرة ومعقدة ومعدن . هورنبلند (٥٢) هو معدنها

الرئيسي $Ca_2Na(Mg,Fe^{II})_4(Al,Fe^{III},Ti)(Al,Si)_8O_{22}(O,OH)_2$,
وتركيبه الكيماوي اكثر تعقيدا من الالوجايت . وهو اسود وفساوته (٥ — ٦)
وله شقا انفصام يلتقيان على زوايا مائلة مما يميزه عن الالوجايت .

Mica.

عائلة المايكا

تتميز معادن المايكا بألوانها وبانفصامها المثالي وانواع المايكا الشائعة مع
صيفها هي : —

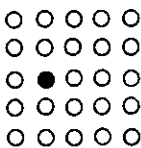
بيوتايت (مايكا سوداء) (٥٣) $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

مسكوفاييت (مايكا بيضاء) (٥٤) $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

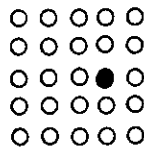
كلورايت (مايكا خضراء) (٥٥) $(Mg,Fe,Al)_6(Al,Si)_4O_{10}(OH)_8$

كوارتز

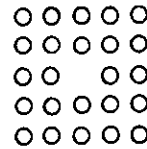
وهو عادة صافي اللون او ابيض غير انه يمكن ان يوجد بأي لون . ويتميز
بقساوته (٧) وعدم وجود شقوق انفصام فيه . وكما هي الحالة في غيره من
المعادن ، فان لونه يمكن ان ينشأ عن كميات قليلة جدا من الشوائب . ويمكن
تفسير ذلك ايضا بالتشويه البلوري (٥٦) الموضحة ثلاثة انواع منه في الشكل
(٢ — ١٨) . وفي حالات اخرى قد ينجم اللون عن الاشعاع كما سبق ان راينا .



شائبة احلالية



شائبة بينية



مراغ

الشكل (٢ — ١٨) : رسم يوضح بعض انواع التشوه البلوري .

التعريف على المعادن

ينتج من تعريف المعادن أن هناك طرقاً عدة للتعرف عليها . ولأن المعادن ذات تركيب كيميائي ثابت تقريباً ، فإن الباحثين استعملوا طرق التحليل الكيميائي العادية . وكان هذا الحل ذا أهمية تاريخية في تطور علم المعادن والكيمياء . ونقطة الضعف في استعماله الحالي أنه يحتاج إلى مختبر ومهارات عالية ومعرفة عميقة . أضف إلى ذلك أن الاكتشافات الحديثة نسبياً تدل على أن هناك معادن ذات تركيب متشابه وبنية داخلية (بلورية) مختلفة جداً (ظاهرة تعدد الأشكال في المعادن (٥٧) . وفي هذه الحالة ، فإن الأشكال المتعددة تكون لها خواص مختلفة جداً على الغالب ومثالنا على ذلك الماس والجرافيت اللذان يتكونان من الكربون النقي . ولا يمكن أن نثبت أن معادن معينة هي مثلاً متعددة الأشكال قبل أن يتم استعمال الأشعة السينية في سبر (٥٨) بنية البلورة ومن مشاكل استعمال التحليل الكيميائي أو تحليل المعادن السيليكانية الهامة أنه أمر صعب للغاية ، حتى في المختبرات الجيدة التجهيز . ولحسن الحظ فإن معضلة التحليل يمكن أن تترك جانباً وذلك باستعمال الصفات الفيزيائية السهلة للتعرف على المعادن ، ويمكن أن يضاف إلى ذلك (إذا دعت الحاجة) تحليلات كيميائية موضعية . (٥٩) .

وتتضمن الصفات الفيزيائية أشياء من مثل اللون والبريق والقساوة والوزن النوعي ، والشكل البلوري والتفلور (٦٠) ، والطعم ، والذوبان والانفصام (التشقق) ، والمغناطيسية ، والنشاط الإشعاعي وكثير غيرها . وفيما يلي استعمالات أهم الصفات الفيزيائية .

Color

اللون

نعني باللون على وجه التحديد لون السطح الجديد للمعدن الذي لم يصبه الفساد على أن السطح الصدئ أو اللون الكاليج يمكن أن يساعد أحياناً في التعرف على المعدن . وفي بعض المعادن نجد اللون مميزاً إلا أن معادن أخرى كالكوارتز مثلاً يمكن أن يكون لها أي لون بسبب بعض الشوائب .

Streak

المخدش

وهو لون مسحوق المعدن . وحتى نرى مخدش المعدن فإنه يحك على قطعة

57. Polymorphism

58. Probe

59. Spot Chemical Tests

60. Fluorescence

غير لماعة من الخزف الابيض تسمى لوح المخدش (٦١) . ويعتبر لون المخدش في كثير من المعادن خاصة اكثر ثباتا من لون المعدن نفسه . ويمكن أن يكون لون المخدش مختلفا تماما عن لون المعدن . وهو بهذا يساعد في عملية التعرف . ويجب أن يحرص المرء وهو يتعامل مع بلورات صغيرة الابعاد بأن يخدش المعدن نفسه وليس الارضية (٦٢) المحيطة به . وكثير من المعادن ذات مسحوق ابيض وهي بهذا لا مخدش لها . ثم ان المعادن التي تفوق قساوتها قساوة قطعة الخزف (لوح المخدش) ليس لها مخدش ايضا .

البريق

Luster

هي الطريقة التي بها يعكس المعدن الضوء . اما نوعا البريق الرئيسيان فهما بريق معدني (فلزي) (٦٣) و بريق لا معدني (لا فلزي) (٦٤) ومن الصعب التمييز بينهما بالكلمات ، فاما ان تبدو كالفلز (٦٥) او لا تبدو . وبعضها يقع في منطقة متوسطة ويدعى احيانا تحت الفلزي (٦٦) . ولقد اقترحت عشرات الاسماء لوصف الانواع المختلفة من البريق . وفيما يلي خطوط عريضة مبسطة للانواع الاكثر شيوعا . ومعظم الاصطلاحات توضح نفسها بنفسها .

فلزي

Metallic

ساطع

Bright

معتم

Dull

تحت الفلزي (الافضل تجنبه ان امكن) (Sub-metallic) best to avoid if possible

لا فلزي

Nonmetallic

Adamantine

ماسي (بريق ساطع كالماس)

Vitreous (glassy)

زجاجي

Greasy

شحمي

Resinous

صمغي

Waxy

شمعي

Pearly

لؤلؤي

Silky

حريري

Dull or earthy

ترابي

61. Streak Plate

64. Nonmetallic

62. Matrix

65. Metal

63. Metallic

66. Submetallic

Crystal form.

الشكل البلوري

تقع جميع المواد المبلورة في واحد من ستة أنظمة بلورية (٦٧)* انظر الاشكال (٢ — ٢٠، ١٩ — ٢٠، ٢٠ — ٢١) . فاذا نما المعدن في حيز مطلق فانه يكون الهيئة الخارجية لشكله البلوري . ولكنه اذا لم يستطع أن ينمي هيئته الخارجية فان طبيعته البلورية لا يمكن أن تحدد الا تحت المجهر او بالاشعة السينية . وهناك احتمالات كثيرة للاشكال البلورية في كل نظام بلوري ، وعلى كل حال فان كل نظام يمكن أن يحدد بواسطة التماثل في البلورة . وعلم البلورات موضوع جذاب ، ويمكن الحصول على معلومات اكثر في المراجع المثبتة في اخر هذا الفصل .

Cleavage and fracture.

التشقق والمكسر

تصف هذه المصطلحات الطريقة التي يتكسر بها المعدن . ان أي انكسار غير منتظم يدعى مكسرا (٦٨) . ولقد استعملت مصطلحات كثيرة لوصف المكسر ، وأغلبها يوضح نفسه بنفسه من مثل مكسر سوي (٦٩) وخطي (٧٠) ومذهب (٧١) ومسنن (٧٢) . وهناك نوع شائع من المكسر يدعى المكسر المحاري (٧٣) وهو المكسر الاجوف الدور الذي يحصل في الزجاج .

ويقال ان للمعدن سطح تشقق (٧٤) ، اذا كان يحتوي على اتجاه ضعيف ينتج عند كسره سطحا ناعما يعكس الضوء (الشكل ٢ — ٢٢ و ٢ — ٢٣) . ويمكن أن تصل سطوح التشقق في المعادن الشائعة الى ستة سطوح . تذكر ان التشقق عبارة عن اتجاه وعليه فان اتجاه تشقق واحد ينتج سطحي التشقق

* في الواقع هي سبعة أنظمة بلورية وليست ستة وذلك باعتبار النظام الثلاثي والنظام السداسي

نظامين مستقلين وليس قسمين من نظام واحد (المترجم)

67. Crystal Systems

68. Fracture

69. Even

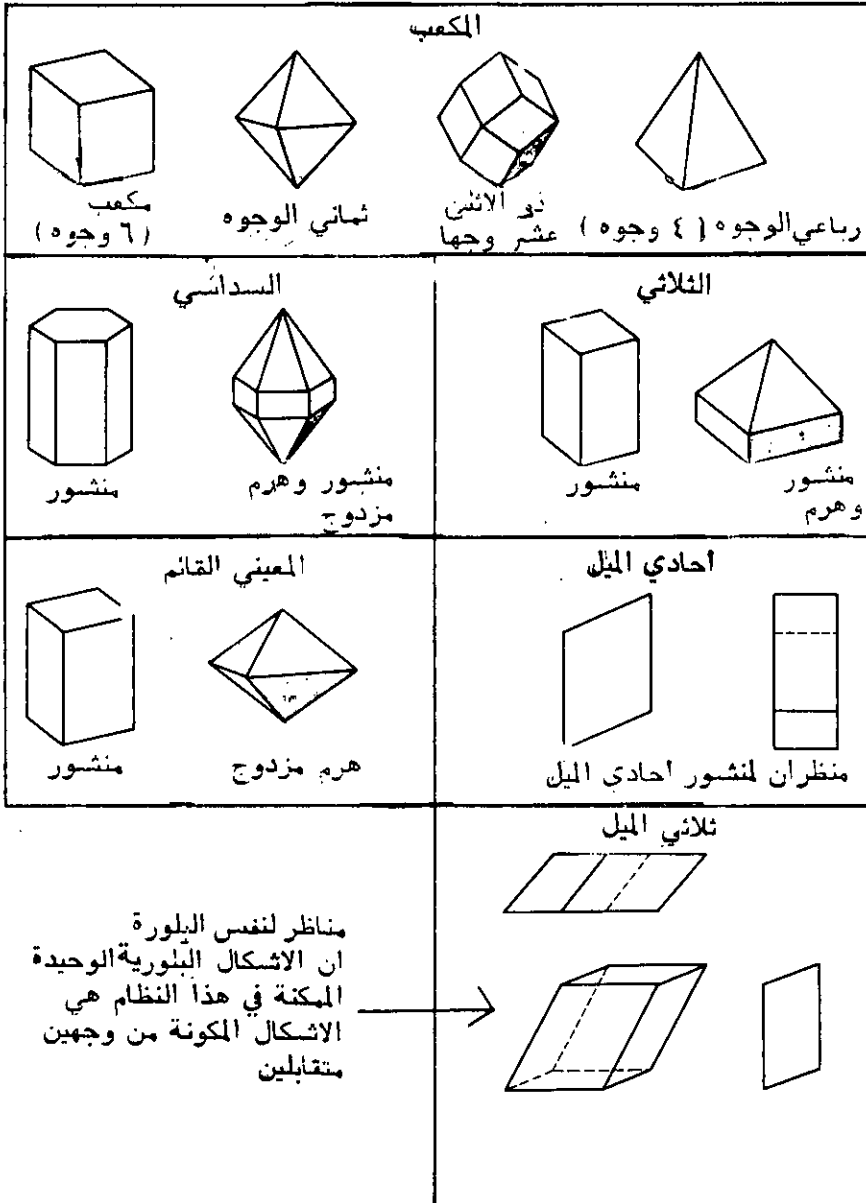
70. Fibrous

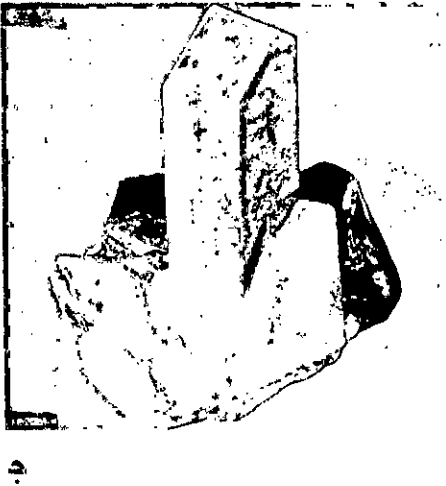
71. Splintery

72. Hackly

73. Conchoidal

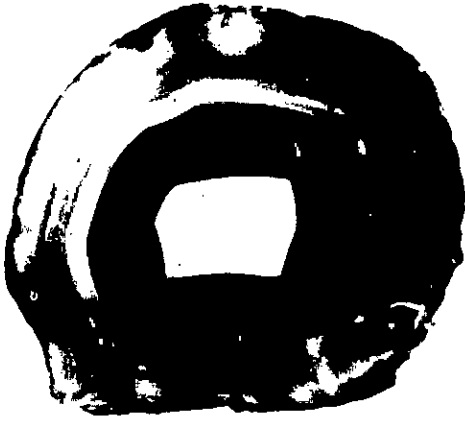
74. Cleavage



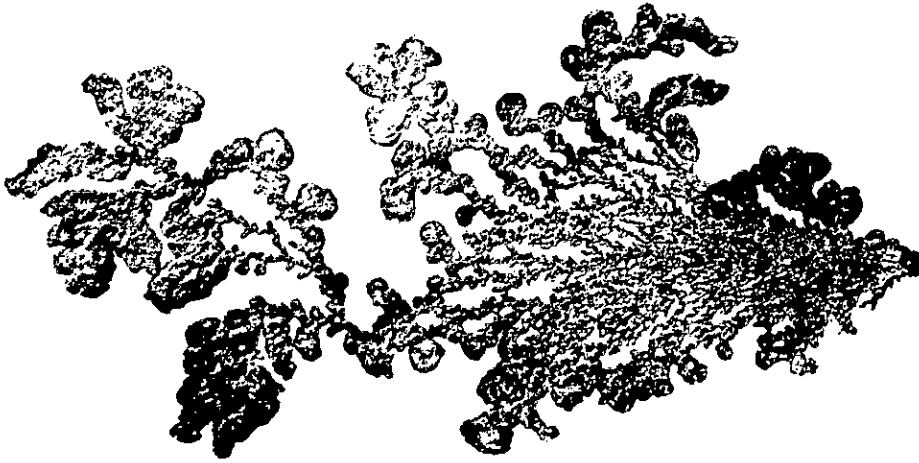


الشكل (٢ - ٢٠) عينات معادن توضح اشكالا بلورية . أ - كوارتز و ج - جالينا
مأخوذة من : Ward's Natural Science Establishment, Inc., Rochester, N.Y.
ب - أورثوكلاز (فاسبار بوتاسيوم) و د - بايريت .
مأخوذة من : Smithsonian Institution

عادة . ويمكن التعرف على سطوح التشقق بنعومتها وبميلها لان تشكل أزواجا
أو درجات ، كما توضحه الاشكال التخطيطية .
ويكثر وجود السلسلة من الدرجات في المعادن رديئة التشقق اي في المعادن
التي يكون اتجاه التشقق فيها اضعف قليلا من أي اتجاه اخر في المعدن . وحتى

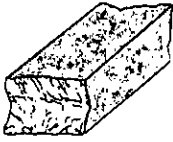


ب



الشكل (٢ - ٢١) معادن لا تظهر طبيعتها البلورية مباشرة . ففي معظم العينات الموضحة ، فان البلورة الواحدة هي من الصفر بحيث لا ترى بالعين المجردة .
أ - عقيق Agate ، ب - هيماتيت ، ج - نحاس عنصري . أ - مأخوذة من Ward's السابق ذكره و (ب) و (ج) من Smithsonian Institution .

في مثل هذه الحالة ، فان سطحي التشقق يكونان أملسين ومتوازيين ويعكسان الضوء مرة واحدة .
وتنتج سطوح الضعف التي هي اتجاهات التشقق في المعدن عن البنية الذرية للمعدن .



سطحا تشقق يلتقيان
في زاوية قائمة .



سطحا تشقق يلتقيان
في زاوية مائلة

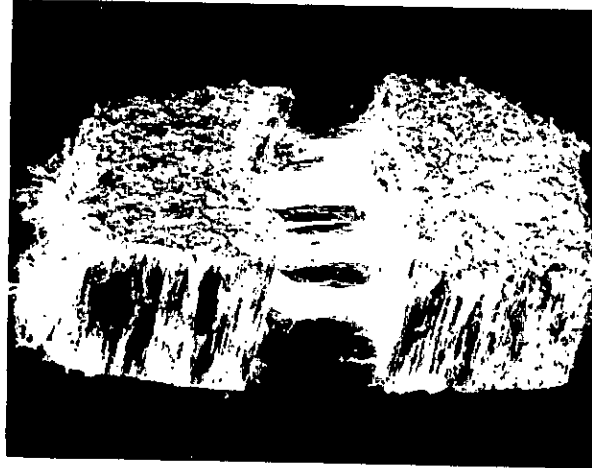
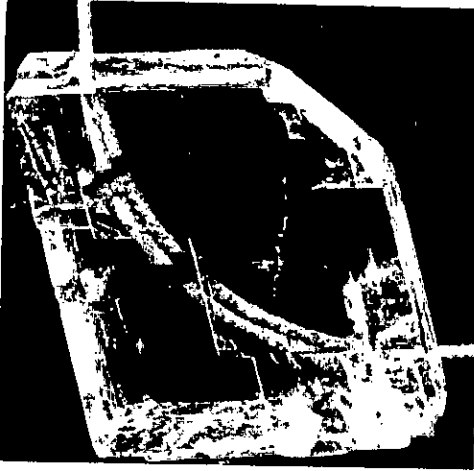


تشقق في اتجاه واحد
لاحظ سطحي التشقق



تشقق رديء في اتجاه واحد
.. لاحظ التدرج الناتج

الشكل (٢ - ٢٢) سطوح التشقق .



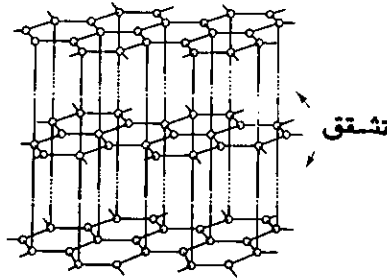
الشكل (٢ - ٢٣) : معادن توضح التشقق : ١ - كالسايت . لاحظ الانكسار المزدوج
double refraction للخط الموجد وإنا خلف البلورة . ب - اسبيست سيريتيني له
تشقق خيطي . ج - سطح تشقق في البيرنات يري النمو المتداخل intergrowth النوعين
من الفلسبار (١) و (ب) من Ward's السابق ذكره في (شكل ٢ - ٢٠) و (ج) من
المعهد المذكور في نفس الشكل .

وينشأ التشقق على طول الاتجاهات ذات الروابط الضعيفة كما هو موضح في الشكل (٢ - ٢٤) .

القساوة

Hardness.

هي مقاومة المعدن للخدش (٧٥) . انها صفة يصعب قياسها بدقة ذلك لان مقدار القوة ، وشكل الخدش (٧٦) والعلاقة بين السطح المفحوص وبنية البلورة كل هذه تؤثر في القساوة المقاسة . وبرغم كل ذلك فان القساوة الكلية تقاس بسهولة . وهي تساعد كثيرا في عملية التعرف . ويجب فحص السطوح الجديدة للمعادن لان فساد السطوح يؤدي الى قساوة ظاهرية .



الشكل (٢ - ٢٤) : بنية الفرانيت . ان الروابط الموجودة بين طبقات الكربون ضعيفة ، مما ينتج التشقق في الفرانيت . فيكون الفرانيت والماس كلاهما من الكربون فقط ، اما الفروني بينهما فهي ناتجة عن البنية الداخلية .

مقياس القساوة لموه

The hardness scale (Mohs)

ليست الدرجات المتسلسلة متساوية في قيمتها لكنها حددت اختياريا . ان المسافقين الدرجات متساوية الى حد ما الا درجة الماس الكوراندوم فهي كبيرة جدا.

1. Talc (Softest mineral)	ألين المعادن	١ — التالك
2. Gypsum		٢ — الجبس
3. Calcite		٣ — الكالسايت
4. Fluorite		٤ — الفلورايت
5. Apatite		٥ — الاباتايت
6. Orthoclase		٦ — الاورثوكلاز
7. Quartz		٧ — الكوارتز
8. Topaz		٨ — التوباز
9. Corundum		٩ — الكوراندوم
10. Diamond (Hardest mineral)	(اقسى المعادن)	١٠ — الماس

وهذا مقياس قساوة مفيد :

2.	—Finger nail	٤	اظفر الاصبع
3.	—Copper cent (Use a bright shiny one, or you will only test the hardness of the tarnish.)	٣	سنت نحاس (*) استعمل قطعة لماعة والا فانك تقيس قساوة الصدأ
4.		٤	
5.	—Knife blade or glass plate	٥	سكين أو قطعة زجاج
6.	—File	٦	مبرد
7.	—Quartz	٧	كوارتز
8.			

ولكي تقيس تساوة معدن فانه لا بد من ايجاد الين معدن في سلم القساوة الذي يחדش ذلك المعدن . ومع قليل من المراس ، فان الذي يلزم هو السكين وظفر الاصبع لتحديد القساوة . تذكر أن مادتين لهما نفس القساوة يחדشان بعضهما بعضا . ومن المزالق التي يمكن أن يقع فيها المبتدئ قبول أى اثر على المعدن كأنه خدش ، فكما أن قطعة الطباشير الطرية تترك أثرا على اللوح الاسود فان المعدن الطري يترك أثرا على المعدن القاسي . ويمكنك اختبار ذلك بأن تحاول ازالة هذا الاثر باصبعك الرطب ، ثم تتحسس مكان الخدش باظفرك (ان اصغر الاخاديد يمكن أن يحس به) أو يمكنك النظر الى ذلك الاثربعدسة . ويجب أن تكون التجربة النهائية هي أن تفكس الاختبار بأن تحاول أن ترى أن المعدن المفحوص يחדش المعدن الموجود في سلم القساوة .

الكثافة النسبية (الوزن النوعي) *Specific gravity*

هي قياس الوزن النسبي للمادة . وهي نسبة وزن المادة الى حجمها من الماء . وتقاس بوزن المادة في الهواء ثم في الماء .

$$\frac{\text{الوزن في الهواء}}{\text{الوزن في الماء}} = \text{الوزن النوعي}$$

وهي عملية قياس صعبة في كثير من العينات . الا أن تقدير الوزن النوعي يمكن أن يتم بشكل جيد على يد امرئ متمرس في التعامل بالمعدن . وستكون ذات فائدة في عملية التعرف ، وخاصة في المعادن الثقيلة .
 والكثافة (٧٧) هي كتلة وحدة الحجم من المادة ، وعندما يعبر عنها بالغم لكل سم^٣ ، فان الكثافة تساوي الوزن النوعي .

الطعم والذوبان *Taste and solubility*

يمكن تقديرهما بلمس العينة باللسان . ويحس بالمعدن القابل للذوبان كأنه كتلة من السكر . بينما يكون المعدن غير القابل للذوبان كقطعة من الزجاج . يجب الحذر من محاولة ذوق المعادن لان بعضها سام مثل معادن الزرنيخ .
 « المترجم » .

ويشكل التفاعل مع حامض الهيدروكلوريك المخفف اختبار ذوبان آخر .
فالكالسايت يتفاعل منتجا فورانا (٧٨) ، والدولومايت لا بد من طحنه لتزيد
مساحة السطح فيعطي الفوران . (انظر الجدول ٢ — ٨ ، ٢ — ٩) . ويتفاعل
الدولومايت مع الحمض الساخن المخفف او الحمض المركز ، وكلاهما يزيد من
سرعة التفاعل الكيماوي .

اما الصفات الفيزيائية الاخرى ، فانها قد تتطلب أدوات خاصة للاختبار .
فمثلا : خاصية النشاط الاشعاعي (تحتاج الى عداد جايجر) ، والمغناطيسية
(مغناطيس) ، والتفلور (٧٩) (ضوء بنفسجي) .

ويساعد الجدول (٢ — ٨) في التعرف على المعادن الاكثر شيوعا . وعند
استعمال هذا الجدول ، قرر أولا نوع البريق في المعدن (فلزي ام لا فلزي) ثم لون
المعدن (فاتح ام قاتم) ثم قساوته (مقارنة بحد السكين) ورابعا اذا كان للمعدن
تشقق واخيرا اقرا الوصف الموجز للتعرف عليه .

الجدول (٢ - ٨) : مفتاح التعرف على المعادن

MAGNETITE	ماغناتيت	أسود ، شديد المغناطيسية ، قساوته (٦) .
GRAPHITE	جرافيت	أسود رصاصي ، يسود الاصابع ، قساوته (١) ، انقسام واحد لا يظهر الا في البلورات الكبيرة .
PYRITE	بايريت	اصفر نحاسي ، اسود المخدش ، مكعب البلورات عادة ، عليه خطوط striations ، قساوته (٦ - ٦.٥)
CHALCOPYRITE	الكوباييريت	اصفر نحاسي ، يمكن أن يصدأ ، مخدش أسود ، قساوة (٣.٥ - ٤) ، كتلي massive .
GALENA	جالينا	رمادي لامع ، مخدشه أسود ، ثقيل جدا ، انقسام مكعب ، قساوته (٢.٥) .

ORTHOCLEASE (POTASSIUM FELDSPAR)	اورثوكلاز (فلسبار بوتاسي)	لون ابيض او بلون الجلد البشري ، سطح انقسام بزاوية قائمة تقريبا ، قساوته (٦) ، والبلورات الكبيرة التي تبدي عروقا غير منتظمة هي البرتايت .
PLAGIOCLASE	بلاجيوكلاز	ابيض او اخضر رمادي ، سطح انقسام بزاوية قائمة تقريبا ، قساوة (٦) ، خطوط على اتجاه انقسام واحد .

QUARTZ	كوارتز	ابيض ، صاف او اي لون ، بريق زجاجي ، شفاف او نصف شفاف ، سداسي (٦ جوانب) ، قساوة (٧) مكسر محاري .
OLIVINE	اوليفين	ظلال مختلفة من الاخضر والاصفر ، بريق زجاجي ، كتل حبيبية وبلورات في الصخر ، قساوة (٦.٥ - ٧) . القساوة الظاهرية قد تكون اقل كثيرا .
OPAL	اوبال	اي لون متعدد الالوان ، بريقه زجاجي ، قساوة (٥ - ٦) ، مكسر محاري .
CHALCEDONY (AGATE)	كالسيدوني	اي لون او متعدد الالوان ، بريقه شمعي ، قساوة (٧) ، مكسر محاري .

بريقه فلزي

عائش

تأخذ اللون مع بريق غير فلزي

عائش

الجدول (٢ - ٨) : مفتاح التعرف على المعادن (تابع)

HALITE	هالايت	عديم اللون الى ابيض ، طعمه مالح ، انقسام مكعب ، قساوة (٢.٥) .
CALCITE	كالكسيت	ابيض ، اصفر الى عديم اللون ، انقسام معيني، قساوة (٣) ، يفور مع حمض الهيدروكلوريك المخفف .
DOLOMITE	دولومايت	زهري ، عديم اللون ، ابيض او قاتم ، انقسام مكعب ، يفور مع حمض الهيدروكلوريك المخفف اذا كان مسحوقا فقط .
GYPSUM	جبص	ابيض الى شفاف ، ثلاثة سطوح لانقسام متساوية ، قساوة (٢) .
TALC	تالك	اخضر الى ابيض ، ملمسه صابوني، انقسام (١) .
MUSCOVITE	ميسكوفاييت	عديم اللون الى اصفر فاتح او اخضر ، شفاف في المقاطع الرقيقة التي هي مرنة جدا ، سطح انقسام ، قساوة (٢ - ٢.٥) (مايكا بيضاء) .
ASBESTOS	اسبست	اخضر الى ابيض ، انقسام fibrous . يمكن ان يشكل عروقا .

٢ شفاف

معادن فاتحة اللون ذات بريق غير فلزي

TALC	تالك	اخضر الى ابيض ، صابوني الملمس ، قساوة (١) .
GYPSUM	جبص	ابيض الى شفاف ، قساوة (٢) .
SULFUR	كبريت	اصفر الى مخضر ، بريق صمغي ، قساوة (١.٥ - ٢.٥) .

٢ شفاف

AUGITE	اوجايت	اسود الى اخضر قاتم ، سطح انقسام بزاوية قائمة تقريبا ، قساوة (٥ - ٦) .
HORNBLÉNDE	هورنبلند	اسود الى اخضر قاتم، سطح انقسام بزاوية ٩٠ تقريبا ، قساوة (٥ - ٦) .

٢ شفاف

معادن قاتمة ذات بريق لا فلزي

الجدول (٢ - ٨) : مفتاح التعرف على المعادن (تابع)

GARNET	جارنت	احمر الى احمر بني ، مكسر يشبه الانقسام الرديء ، بلورات متساوية الابعاد سهلة الانكسار ، قساوة (٦٥ - ٧٥) .
OLIVINE	اوليفين	ظلال مختلفة من الاخضر والاصفر ، بريق زجاجي ، كتل وبلورات حبيبية في الصخر ، قساوة (٦٥ - ٧) . القساوة الظاهرة يمكن ان تكون اقل كثيرا من ذلك .
QUARTZ	كوارتز	ابيض صاف او اي لون ، بريق زجاجي ، شفاف الى نصف شفاف ، بلورات سداسية (٦ جوانب) . قساوة (٧) ، مكسر محاري .
OPAL	اوبال	اي لون او متعدد الالوان ، بريق زجاجي ، قساوة (٥ - ٦) ، مكسر محاري .
CHALCEDONY (AGATE)	كالمسيدوني عقيق	اي لون او متعدد الالوان ، شمعي ، قساوة (٧) ، مكسر محاري .
HEMATITE	هيماتايت	احمر الى بني ، مخدش احمر ، مكسر ترابي ، قساوة (٦٥ - ٥) . القساوة الظاهرية يمكن ان تكون اقل من ذلك .
LIMONITE	ليمونايت	اصفر بني الى بني قاتم ، يمكن ان يكون اسودا ، مخدش اصفر بني ، ترابي ، قساوة (٥ - ٥) . ويمكن ان تكون القساوة الظاهرية اقل من ذلك .
BIOTITE	مايكا سوداء	بني الى اسود ، انقسام (١) ، قساوة (٢٥ - ٣) .
CHLORITE	كلورايت	ظلال مختلفة من الاخضر ، انقسام (١) ، قساوة (٢ - ٢٥) . (مايكا خضراء) .
SPHALERITE	سفالارايت	اصفر بني الى بني قاتم او اسود ، المخدش ابيض الى اصفر باهت ، بريق صمغي ، ستة اتجاهات انقسام ، قساوة (٣٥ - ٤) .
HEMATITE	هيماتايت	احمر الى بني ، مخدش احمر ، مظهر ترابي ، قساوة (٥٥ - ٦٥) . الظاهرية اقل من ذلك .
GRAPHITE	جرافايت	اسود رصاصي ، يسود الاصابع ، قساوة (١) ، انقسام (١) ، يظهر في البلورات الكبيرة .
LIMONITE	ليمونايت	اصفر بني الى بني قاتم ، يمكن ان يكون اسودا ، مخدش اصفر بني ، ترابي قساوة (٥ - ٥) . الظاهرية اقل القساوة .
SERPENTINE	سربنتين	قائم الى اخضر فاتح ، بريق شمعي ، بعض النواعيات حنطية fibrous ، قساوة (٢-٥) وعادة (٤) .
CINNABAR	سنابار	قرمزي الى احمر غامق ، مخدش قرمزي ، قساوة (٢-٥) ، وزن نوعي عال .

ثاني لا تتطرقه السكين

معادن قائمة ذات بريق لا نظري

طرية تخدش بالسكين

تتأثر

تتأثر

تتأثر

الجدول (٢ - ٩) : ملخص للمعادن الشائعة

المعدن Mineral	التركيب الكيميائي Composition	اللون Color	البريق Luster	المخدش Streak	القساوة Hardness	التشقق Cleavage	خواص أخرى / استخدامات Other properties— Uses
أمفيبول Amphibole	انظر الى الهورنبلند						
اسبست Asbestos	سيليكات مغنيسيوم حاقية سيليكات الكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم والحديد والالومنيوم (Ca,Na)(Mg,Fe ^{II} ,Fe ^{III} ,Al)(Si,Al) ₂ O ₆	ظلال من الأخضر أسود — أخضر قائم	حجري	لا	قساوة ظاهرية أدنى ٦ — ٤	خطي Fibrous بزائوية قائمة، تقريبا	واق من الحرارة وعازل للحرارة والكهرباء
أوجايت Augite	سيليكات البوتاسيوم والمغنيسيوم والحديد والألومنيوم المائية K(Mg,Fe) ₃ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	أسود — أخضر قائم	زجاجي	لا	٣ — ٢.٥	١ مثالي	معدن مكون للصخور
مياكاسوداء Biotite	كربونات الكالسيوم CaCO ₃	عادة أبيض أو عديم اللون	زجاجي الى ترابي	لا	٣ — ٢.٥	معيني ٢٤ بزوايا غير قائمة	المخفف HCl يفور في يستعمل في صناعة الاسمنت
كالسايت Calcite	أكسيد السيليكون SiO ₂	اي لون	شمعي	لا	٧	لا	مكسر محاري
كالمسيوني Chalcodony	أكسيد الحديد والنحاس CuFeS ₂	اصفر يمكن ان يصدأ الى لون برونزي	فلزي	مخضر الى أسود	٢.٥ — ٤	لا	هش
كاكوبايريت Chalcopyrite							

الجدول (٢ - ٩) : ملخص للمعادن الشائعة (تابع)

المعدن	التكوين الكيميائي	اللون	البريق	المختبر	القسوة	التشقق	خواص اخرى/استعمالات
كلورايت Chlorite	سيليكات المغنيسيوم والحديد والالومنيوم المائية (Mg,Fe,Al) ₂ (AlSi) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	اخضر	زجاجي	لا	٢ - ٢.٥	١ مثالي	معدن مكون للصخور
سفالر Cinnabar	كبريتيد الزئبق HgS	احمر او بني احمر	ماسي او ترابي	ترمزي	٢.٥	١	وزنه النوعي مرتفع . خام للزئبق
الصمغيات Clay	عائلة من سيليكات الالومنيوم المائية والتي تحوي بوتاسيوم ، صوديوم ، حديد ، مغنيسيوم الخ	عموما فانح	ترابي	لا	قسوة ظاهرية منخفضة جدا	لا	معدن مكون للصخور
دولوميت Dolomite	كربونات الكالسيتيوم والمغنيسيوم CaMg(CO ₃) ₂	عموما ظلال من الزهري او اللحمي او الابيض	لؤلؤي	لا	٢.٥ - ٤	معيني ٢٤ بزرانيا غير قائمة	يذوب مسحوقه مع حمض HCl المخفف
انظر الى البلاجيوكلاز والاورثوكلاز (التفسير البوتاسي)							
جالينا Feldspar	كبريتيد الرصاص PbS	رمادي رصاص	فلزي ساطع	رصاص رمادي	٢.٥	مكعب ٤ ٢ متعادية	وزن نوعي مرتفع . خام للرصاص
جالزيت Galena	عائلة من معادن السيليكات تحوي الحديد والكالسيتيوم والالومنيوم . . . الخ	عادة احمر	زجاجي	لا	٦ - ٧.٥	لا	بلورات متساوية الاطوال isometric
جرافايت Garnet	كربون C	اسود الى فولاذي رمادي	فلزي او ترابي معتم	اسود	١ - ٢	١	شحي بلمسه . يؤثر في الورق

الجدول (٢ - ٩) : ملخص للمعادن الشائعة (تابع)

المعدن	التكوين الكيميائي	اللون	البريق	الخدش	القساوة	التشقق	خواص أخرى/استعمالات
جنيس	كبريتات الكالسيوم المائية $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	عديم اللون ، أبيض ، رمادي	تولوي ، حجري ، ترابي	لا	٢	١ مثالي والأخرى غير جيدة	بلاستيك ريس
هاليت	كلوريد الصوديوم NaCl	عديم اللون إلى أبيض	زجاجي	لا	٢.٥	٢ مكعب ، متعادلة	طعمه مالح
هيماتايت	أكسيد الحديد Fe_2O_3	أحمر بني إلى أسود أو رمادي	زجاجي	فلزقي إلى فلزقي مسطح أحمر هندي	٥-٦	لا	أهم خام للحديد
هورنبلند	سيليكات الكالسيوم ، صوديوم ، مغنيسيوم ، ألومنيوم ، حديد المائية ($\text{Ca}, \text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}), (\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})$) ($\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_7(\text{O}, \text{OH})_2$	أسود — أخضر قاتم	زجاجي	لا	٦-٥	٢ براوية ٦٠	معدن مكون للصخر
ليمونيت	أكسيد الحديد المائي $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	بني مصفر إلى أسود	عموماً ترابي	بني مصفر	٥ — ٥.٥	لا	القساوة الظاهرية أقل من ذلك
ماغنيتات	أكسيد الحديد المغناطيسي Fe_3O_4	أسود	فلزقي أو تحتفلزقي	أسود	٦	لا	شديد المغناطيسية ، خام حديد مهم
مليكا	انظر البيوتيت ، المسكونايت والكلورايت						
مسكونايت	سيليكات البوتاسيوم والألمنيوم المائية ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$)	صاف إلى أخضر فاتح	زجاجي	لا	٢ — ٢.٥	١ مثالي	معدن مكون للصخور
أوليفين	سيليكات الحديد والمغنيسيوم ($\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	أخضر	زجاجي	لا	٦.٥ — ٧	لا	معدن مكون للصخور
أوبال	أكسيد السيليكون المائي $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	أي لون	مصفى إلى زجاجي	لا	٥ — ٦	لا	مكسر محاري

الجدول (٢ - ٩) : ملخص للمعادن الشائعة (تابع)

المعدن	التركيب الكيمائي	اللون	البريق	المخدش	القساوة	التشقق	خواص اخرى/استعمالات
أورثوكلاز Orthoclase	سيليكات البوتاسيوم والالومنيوم $KAlSi_3O_8$	أبيض الى زهري	زجاجي	لا	٦	٢ على زاوية قائمة تقريبا	معدن مكون للصخور
بلاجيوكلاز Plagioclase	سيليكات الكالسيوم والصوديوم $CaAl_2Si_2O_8$ & $NaAlSi_3O_8$	أبيض الى اخضر	زجاجي	لا	٦	٢ بزواوية قائمة خطوط على اتجاه واحد للالتهام	معدن مكون للصخور
بيلرايت Pyritic	FeS_2 كبريتيد الحديد	اصفر باهت	فلزي ساطع	مخضر أو أسود بني	٦ — ٦.٥	لا	بلورات مكعبة هشّة
انظر الاوراجات							
كوارتز Quartz	أكسيد السيليكون SiO_2	اي لون	زجاجي	لا	٧	لا	معدن مكون للصخور
سرفنتين Serpentine	سيليكات المغنيسيوم المائية $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	اخضر قائم أو فاتح	شمعي أو شمعي	لا	٢ — ٥	لا	صخور متحولّة - التوحيات الخبثية هي الاسيست
سفالرايت Sphalerite	كبريتيد الزنك ZnS	عومًا بني بمصر الى أسود	صمغي الى ماسي	أبيض الى اصفر أو بني	٢ — ٤	٦	خام الزنك
كبريت سلفر Sulfur	S كبريت	اصفر	صمغي	لا	١.٥ — ٢.٥	لا	الكبر محاري الى غسّر الطس - هشّ
تالك Talc	سيليكات المغنيسيوم المائية $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$	الغفر كالتعاقم، رمادي، أبيض، أبيض فضي	لؤلؤي الى شمعي	لا	١	١	في التجميل

أسئلة

- ٢ — ١ العناصر الاربعة الاكثر وجودا (الوزن /) هي على الترتيب :
_____ ، _____ ، _____ ، _____
- ٢ — ٢ عرف المعدن
- ٢ — ٣ ميز بين بلورة وبلوري .
- ٢ — ٣ لماذا لا يوجد الاثمانية معادن هامة مكونة للصخور .
- ٢ — ٥ هل يمكنك أن تعزو التشقق الممتاز في المايكا الى البنية الداخلية ؟
- ٢ — ٦ كيف تتميز المعادن عن الصخور .
- ٢ — ٧ فرق بين السيليكون والسيليكات .
- ٢ — ٨ لماذا تختلف الصفات الفيزيائية للماس والجرافايت كثيرا .
- ٢ — ٩ ماهي العوامل التي تقرر امكانية استبدال عنصر باخر في معدن .
- ٢ — ١٠ لماذا يعتبر رباعي وجوه السيليكون وحدة البناء في معظم المعادن .
- ٢ — ١١ صف الوحدات التي تتشكل منها الذرة .
- ٢ — ١٢ ماهي الايونات وما هي الرابطة الايونية .
- ٢ — ١٣ ماهو النظر .
- ٢ — ١٤ ماهي العناصر المشعة الاكثر اهمية جيولوجيا .
- ٢ — ١٥ عرف نصف الحياة . ولماذا كان التسخين بالاشعاع في تاريخ الارض المبكر اكثر اهمية منه الان .
- ٢ — ١٦ كيف يستعمل النشاط الاشعاعي لتقدير عمر المعدن بواسطة نواتج الانحلال ؟ وبواسطة تحطيم البلورة ؟

مراجع اضافية

Berry, L. G., and Brian Mason, *Mineralogy*. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1959, 612 pp.

Ernst, W. G., *Earth Materials*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1969, 150 pp. (paperback).

Hurlbut, C. S., Jr., *Dana's Manual of*

Mineralogy. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1959. 609 pp.

Hurlbut, C. S., Jr., and H. E. Wenden, *Changing Science of Mineralogy*. Boston: D. C. Heath and Co., 1964, 128 pp. (paperback).

Pough, F. H., *A Field Guide to Rocks and Minerals*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1955, 349 pp.

Rapp, George, Jr., "Color of Minerals," *ESCP Pamphlet Series*, PS-6, Boston: Houghton Mifflin Co., 1971, 30 pp.

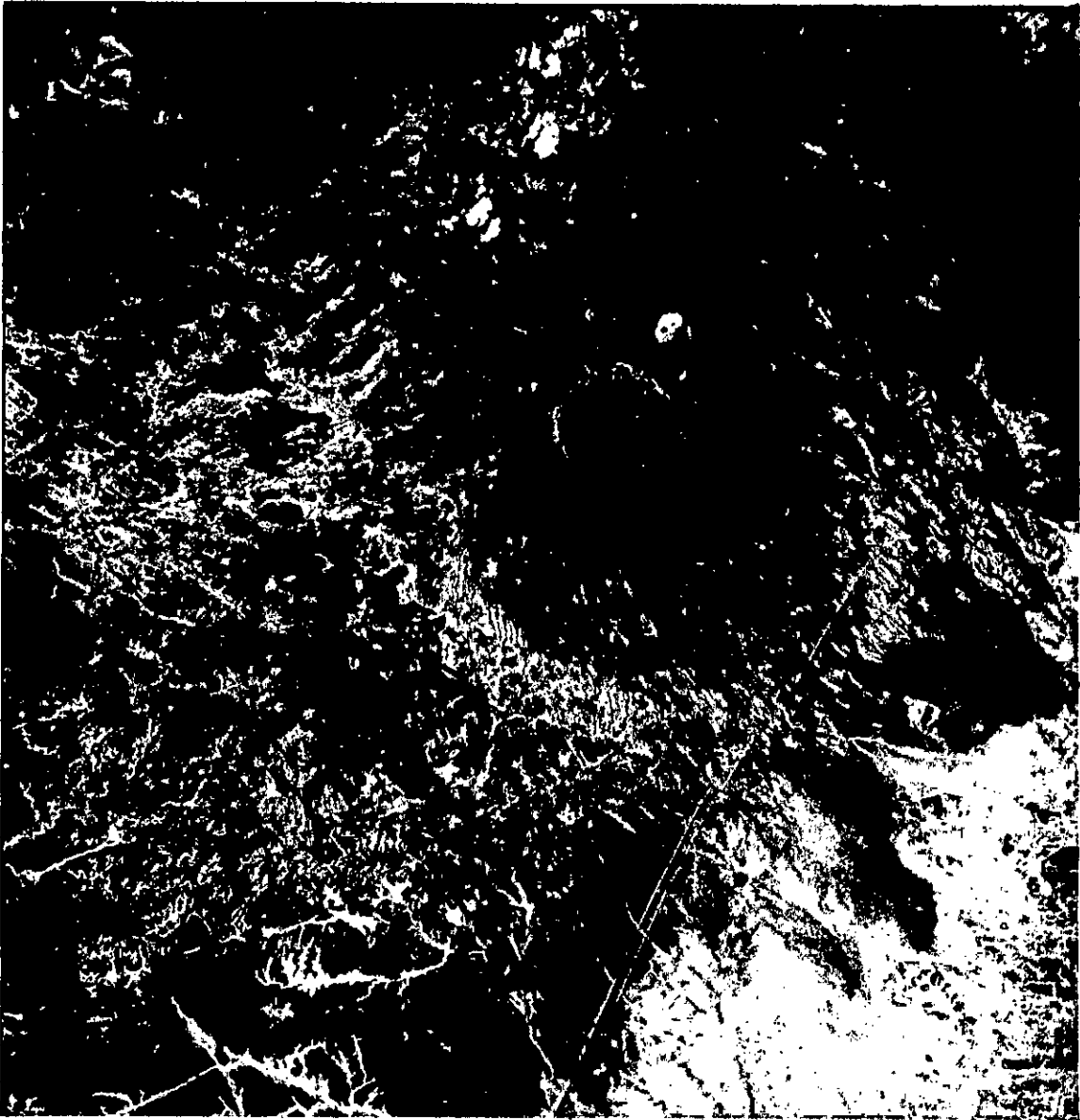
الفصل الثالث

الصخور النارية والبراكين

Igneous Rocks and Volcanoes

الدورة الصخرية
التبلور
التصنيف
النسيج وانماط الوجود
البراكين
الاصل والتوضع
توضع الباثوليت
عروق الكوارتز والبجماتايت
التعرف والتفسير
اسئلة
مراجع اضافية

٢



الدورة الصخرية

Rock cycle

تصنف صخور القشرة الأرضية حسب أصولها الى ثلاثة انواع . ويتشكل نوعان منها عميقا في الأرض ، ومن ثم فانهما يخبران شيئا عن الظروف داخل الأرض . والنوعان هما :

- ١ — الصخور النارية : التي تصلبت من صهير أو ماجما (١) .
- ٢ — الصخور المتحولة (٢) : وهي الصخور التي تغيرت غالبا بسبب درجات الحرارة العالية والضغط داخل القشرة .
- والنوع الثالث وهو الذي يخبر عن الظروف على سطح القشرة هو :
- ٣ — الصخور الرسوبية (٣) : وهي التي ترسبت بالقرب من سطح الأرض بفعل الماء والرياح والجليد .

وينصب جزء كبير من علم الجيولوجيا على التفاعل بين القوى التي تنتج هذه الانواع الثلاثة من الصخور . ان علاقاتها متداخلة جيدا ، لكنه يمكن توضيحها بالدورة الصخرية (الشكل ٣ — ١) .

التبلور

Crystallization

تتشكل الصخور النارية من تبلور الماجما . والماجما عبارة عن مصهور طبيعي ساخن يتكون من محلول مشترك من المعادن المكونة للصخور (بشكل رئيسي سيليكات) وبعض المواد الطيارة (بشكل رئيسي بخار) وهي التي تبقى بالضغط على شكل محلول ويمكن للماجما أن تحوي مواداً صلبة متحركة . يحتمل أن تكون الماجما قد نشأت بالقرب من قاع قشرة الأرض ، لكن منشأها مشكلة هامة .

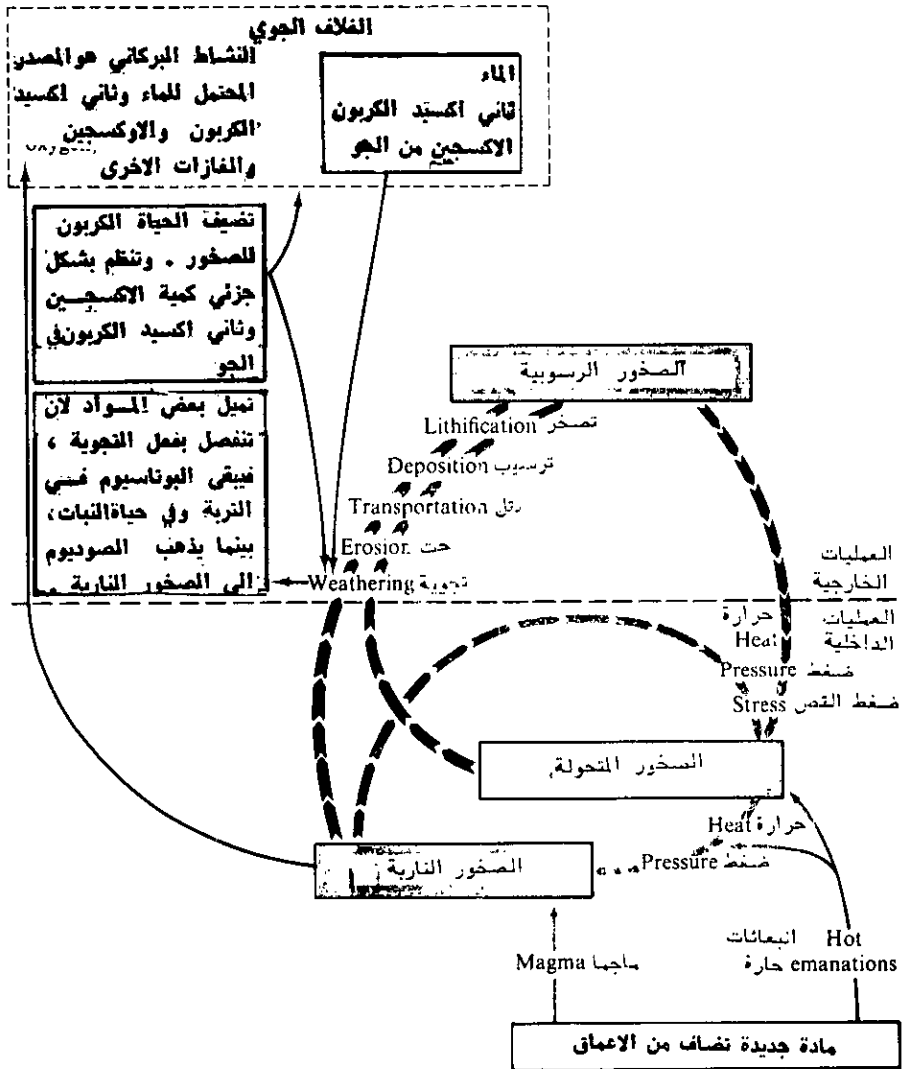
ومن المفاهيم العظيمة الاهمية في جيولوجية الصخور النارية سلسلة التفاعل ^(٤) التي كان اول من وصفها العالم الفيزيائي الكيماوي بوين ^(٥) حيث درس مصاهير السيليكات في المختبر . وتري هذه السلسلة مراحل التبلور في مصهور البازلت الذي هو اكثر الصخور البركانية شيوعاً . وترينا السلسلة ايضا كيف ان البلورات التي تشكلت اول الامر يمكن ان تنفصل عن المصهور أو الماجما مشكلة بذلك صخوراً لها تركيب يختلف عن تركيب المصهور الاولي . وتسمى هذه العملية تفارق ^(٦) ، وسنبحث دورها عندما ندرس اصول الماجما وانواع الصخور النارية المختلفة . وقد وضع بوين فكرة السلسلة من دراسات تجريبية على المصاهير ، الا ان مراحل التبلور العامة لمعظم الصخور كانت معروفة كنتيجة لدراسات مجهرية مكثفة . ان سلسلة التفاعلات تبسيط زائد (لمرحلة التبلور) لكنه مفيد جداً (انظر الشكل (٣ - ٢)) .

وتتألف سلسلة التفاعل في الحقيقة من ثلاث سلاسل . فالسلسلة البينية سلسلة متصلة ^(٧) بمعنى ان جميع تراكيب البلاجيوكلاز موجودة من تلك التي هي كلية كلسية الى تلك التي هي كلية صودية الى التراكيب المتوسطة بينهما . اما اليسرى فهي سلسلة متقطعة ^(٨) بمعنى ان التحول من معدن الى معدن يحدث في خطوات منفصلة ، وفي الواقع ، فان كل معدن من معادن الجانب الايسر

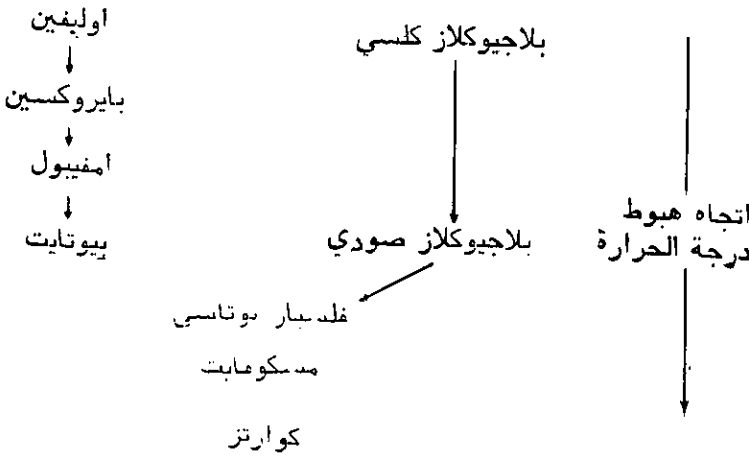
4. Reaction Series
5. Bowen
6. Differentiation

7. Continuous Series
8. Discontinuous

هذا هو في حقيقته سلسلة متصلة لمعادن تلك المجموعة . أما السلسلة السفلى فهي ليست الا مرحلة للتبلور . أما الترتيب فانه يوضح التتابع النسبي للتبلور (على وجه التقريب) ، حيث يميل البلاجيوكلاز الكلسي والاوليفين للتبلور في



الشكل (٣ - ١) : منتصف هذا الرسم ، الذي يوضح العلاقة بين الصخور النارية والرسوبية والمتحولة ، هو ما يعتبر عادة الدورة الصخرية . ويوضح جزءا من الشكل العلوي والسفلي كيف تضاف المادة او تؤخذ من الدورة الصخرية . وستبحث العمليات الخارجية التي تشكل النصف العلوي من الشكل في الجزء الثاني من الكتاب ، أما العمليات الداخلية التي تشكل النصف السفلي فستبحث في الجزء الثالث .



الشكل (٢ - ٢) : تفاعل بويين المتسلسل

Bowen reaction series يري التتابع العام لتشكل المعدن مع

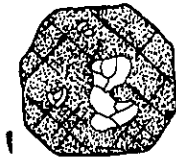
هبوط الحرارة في مصهور بازالتي .

نفس الوقت ، بينما تتبلور السلسلة السفلى اخيرا . ولا بد من التأكيد على أن بسلسلة بويين تصح فقط في بعض انواع الماجما البازلتية ، لكن ماجما البازلت ، كما نرى ، مهمة جدا في جيولوجية الصخور النارية .

ويفسر تبلور الماجما البازلتية في ضوء سلسلة بويين على النحو التالي : أول ما يتبلور من المعادن عموما هو الاوليفين . وفي معظم الحالات ، فان البلاجيوكلاز الكلبي يتبلور في نفس الوقت أو بعد ذلك بقليل ، وتستمر السلسلة متقطعة مع هبوط درجات الحرارة ، فيتفاعل الاوليفين مع المصهور ليشكل البايروكسين ، الذي يبدأ بالتبلور مباشرة من المصهور . اما البلاجيوكلاز فانه يستمر في التبلور مع انخفاض درجات الحرارة . لكن التركيب يصبح باستمرار أكثر صوديا . وإذا كانت عملية التبريد بطيئة بما فيه الكفاية فان العمليتين تستمران . فمعدن الجانب الايسر تتفاعل مع المصهور لتشكل المعدن السفلي التالي في نفس الوقت الذي يتبلور فيه هذا المعدن من المصهور ، وتستمر معادن البلاجيوكلاز بالتفاعل مع المصهور لتعطي المعادن الأكثر احتواء على الصوديوم . وتنتهي هذه العملية عندما تتشكل جميع المعادن الحديدية المغنيسية (٩) والبلاجيوكلاز . عندها تبدأ سلسلة الفلسبار البوتاسي — مسكوفاييت — كوارتز . ويمكن أن تتداخل هذه

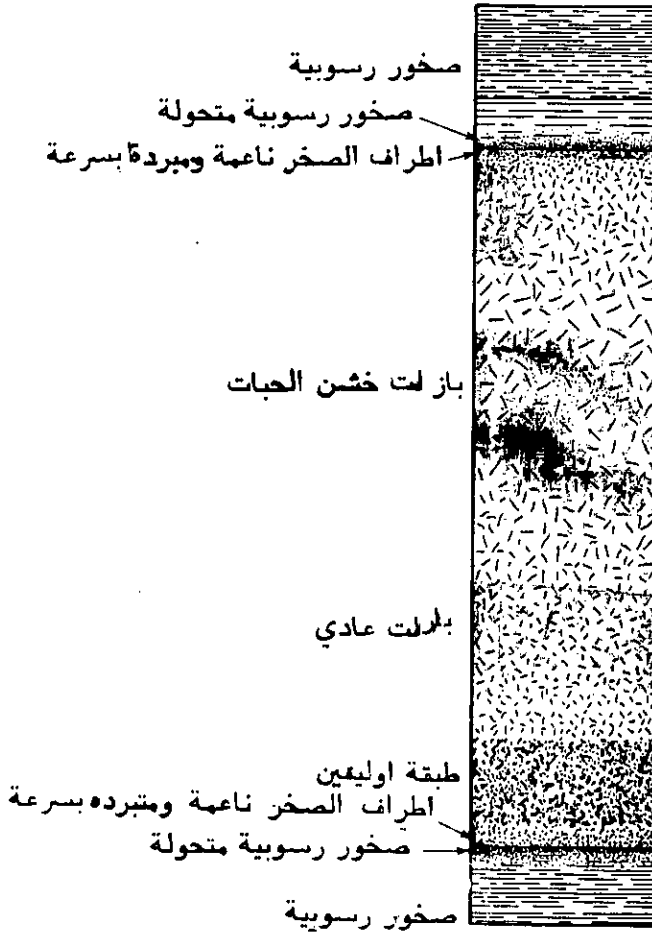
السلسلة مع الجزء الصودي من سلسلة البلاجيوكلاز . ويمكن أن توضح السلسلة المتقطعة بطريقة أخرى وذلك بأن نلاحظ ما يحدث عند تسخين أحد المعادن . فعند تسخين أحد معادن السلسلة المتقطعة ، فإنه لا ينصهر على درجة حرارة واحدة كما يفعل الجليد أو المواد المشابهة . فإذا سخن الأمفيبول مثلا ، فإنه يبدأ بالانصهار على درجة معينة حسب تركيبه ويستمر الانصهار على مدى من درجات الحرارة . فإذا اخترنا الجزء الصلب المتبقي خلال عملية التسخين الأولى (وذلك بواسطة التبريد السريع لمنع التفاعل الذي يجري بالتبريد البطيء) فإننا سنرى أن الأمفيبول قد تحول إلى بايروكسين وسائل وهو بعكس تماما ما حصل في عملية التبريد البطيء للماجما . وباستمرار التسخين ، فإننا نصل إلى درجة حرارة حيث توجد عملية انصهار أخرى . وكما حصل سابقا ، فإن الانصهار سيجري على مدى من درجات الحرارة منتجا مصهورا وأوليفين . وأخيرا فإن درجة الحرارة ستصل إلى حد يكون فيه جميع الأوليفين قد انصهر .

والدلة على سلسلة التفاعل كثيرة . فقد شوهدت بلورات من البايروكسين وعليها غلظة من الأمفيبول . وهي بهذا تدل على وجود تفاعل متقطع ربما كان سببه أن التبريد كان أسرع من أن يسمح للتفاعل بأن يتم (انظر الشكل (٣-٣)) . أما في كتل الصخور المتفارقة ، فإن التبريد البطيء والزوجة المتدنية قد



الشكل (٣ - ٣) أدلة تفاعل بون المتسلسل رؤيت في دراسة مجهرية لصخور نارية . أ - بلورة أوجايت مع بقايا أوليفين في داخلها . ب - بلورة هورنبند مع بقايا أوجايت . وفي كائنا الحالتين كان التفاعل لم يكن غير مكتمل ، ومن ثم حافظ على بقايا المعادن السابق . لاحظ زوايا الانقسام في الأوجايت والهورنبند . المصان البلووضحة هنا هي حوالي ٨/١ من البوصة غير أنها قد تكون أكبر كثيرا من ذلك أو أصغر .

اجتمعنا لتحفظا بعض الجوانب الرئيسية في مبدأ التفاعل . ففي مثل هذه الكتلة الصخرية ، فان الاوليفين الذي تبلور مبكرا قد رسب الى القعر وبهذا فانه تخلص من البقاء المستمر في تماس مع الماجما الرئيسية ، مما يسمح بالتشكل التدريجي للصخور الافتح لونا في اجزاء الكتلة الصخرية العليا (انظر الشكل (٣ - ٤)) .



الشكل (٤ - ٤) : التفرق في قاطع أفقي sill من البازلت ويبدو في الشكل مقطع عامودي في هذا القاطع الأفقي . لقد تطورت طبقة الاوليفين عن طريق ترسب بلورات الاوليفين الثقيلة التي تشكلت مبكرا .

ويعتقد البعض أن مثل هذا التفرق يفسر التنوع الشديد في الصخور النارية، إلا أنه يحتمل أن يكون ذلك تبسيطا أكثر مما يجب . وينطبق التفاعل المتسلسل على الماجما البازلتية ، وتشير المساحات الشاسعة من اللابا البازلتية الى أن

الماجما البازلتية كثيرة في قشرة الارض . نرى أن الصخور ذات التركيب الجرانيتي هي ايضا شائعة جدا كما سنرى . ان الكميات الهائلة من الصخور الجرانيتية والصخور البركانية المماثلة لها في التركيب ، توحى بأن هذه الصخور تمثل انواعا هامة اخرى من الماجما في قشرة الارض لانها اكبر جدا من أن تنفصل من الصخور البازلتية بعملية التفارق . ويمكن للتفارق التام للبازلت أن ينتج ١٥٪ صخورا جرانيتية التركيب كحد اقصى . . . وهذا يبرز مسألة كبرى في الجيولوجيا وهي اصل الماجما . ان فهم تبلور البازلت يمكننا من النفاذ الى سر تكوين انواع الصخر كما يتضح في الفصل التالي .

التصنيف

Classification

تصنف الصخور النارية على اساس التركيب (١٠) والنسيج (١١) . والتصنيف محاولة لتوضيح العلاقات بين انواع الصخر المختلفة ، ومن ثم ، فانه محاولة لتصنيف الصخر حسب طبيعته وتكوينه .

وفي تصنيف الصخور النارية ، فان التركيب يتبع سلسلة التفاعل . ولقد وضعت اسماء الصخور قبل أن يصف بوين هذه السلسلة بزمان طويل . ولقد وضعت هذه الاسماء للانواع الصخرية الاكثر شيوعا . ولكن من الممتع أن نعرف ان هذه المجموعات الشائعة من الصخور تتوزع على الدرجات المختلفة لتصانيف الماجما البازلتية حسب سلسلة بوين . وهذا الترابط يوحي بأن اسماء الصخور النارية الموضوعة حسب تركيبها قد نصنفها ايضا حسب منشئها كما يتبين من الشكل (٣ - ٥) .

ولان معظم الصخور ذات الحبيبات الخشنة تحوي الفلسبار — وهو اكثر عائلات المعادن شيوعا — فان نوع الفلسبار يعتبر اهم عام — ل في التركيب الكيماوي . . ويأتي في المرتبة الثانية من الاهمية نوع المعادن القائمة التي ترافق

اسم الصخر	سلسلة بوين
بيرو دوتايت	
دوتايت	اولينين
جابر (بارليت)	بلاجيوكلاز كلنسي
ديورايت (انديزيت)	بايروكسين
جرانيت (ريولايت)	امفيبول
	بلاجيوكلاز صودي بيوتايت
	فلسبار بوتاسي
	مسكوفات
	كوارتز

الشكل (٢ - ٥) : يري هذا الرسم بطريقة عامة جدا كيف ان المنحرف بواسطة فصل
الجاورات المتشكلة بالتتابع يمكن ان ينتج بضعه انواع من الصخور ناشئة عن ماجما بازلية
واحدة . (الصخور البركانية داخل اقواس) . وهي تري ايضا كيف ان المعادن البعيدة عن
بعضها في التفاعل المتسلسل مثل الكوارتز والاوليفين لا تظهر في نفس الصخر الا نادرا .

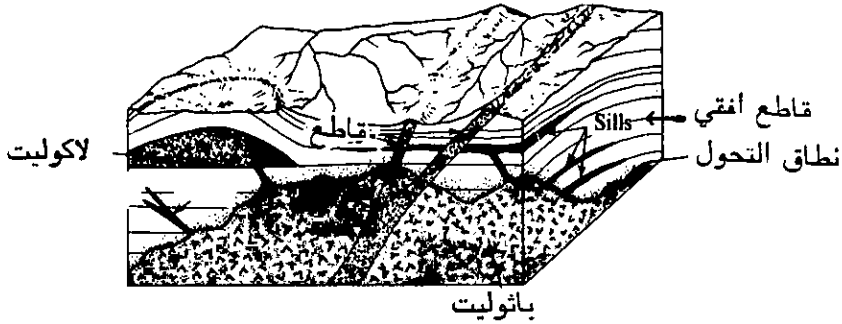
انواع الفلسبار المختلفة . (انظر الى شكل التصنيف (٣ - ٣٨) .
وبالمثل فان النسيج تنبيء كثيرا عن تاريخ تبريد الصخر الناري . ويشير
النسيج في الصخور النارية بشكل رئيسي الى حجم الحبيبات فقط . ان الصخور
التي تبرد ببطء قادرة على تنمية بلورات كبيرة ، بينما الصخور التي تبرد بسرعة
كالصخور البركانية فان حباتها صغيرة . وحتى نفهم أهمية ما نقول فانه لا بد
من ان نعتبر انماط وجود الصخور النارية .

النسخ وانماط الوجود

Texture and mode of occurrence

توجد الصخور النارية على شكلين، فهي اما صخور جوفية (تحت السطح) (١٢)
واما صخور سطحية (١٣) . ويحتل ا ن يكون اصل الماجما النهائي عميقا في
قشرة الارض او في الجزء الاعلى من الستار (١٤) . ومن ثم فان المصطلحين

جوفي وسطحي يشيران الى مكان تصلب الصخر . ولا نرى الصخور النارية الجوفية الا اذا عراها الحت . وتسمى هذه الصخور متوافقة (١٥) اذا كان سطح التماس (١٦) بين الجسم الدخيل موازيا تقريبا لطبقات الصخور الاصلية وتسمى غير متوافقة (١٧) اذا قطع الجسم الدخيل الصخور الاقدم منه (انظر الشكل (٣ - ٦)) .



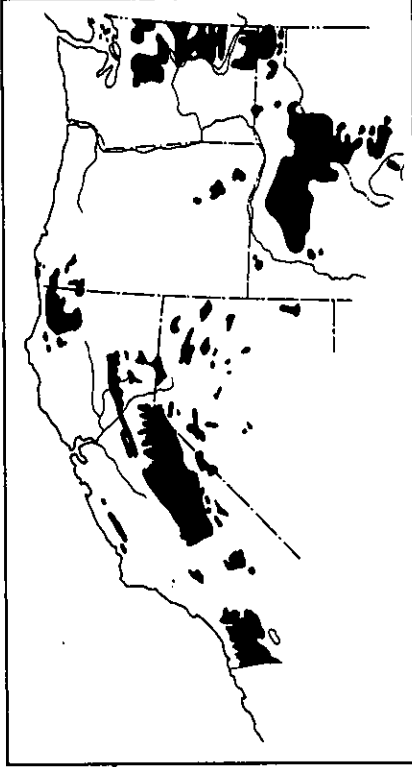
الشكل (٢ - ٦) : انماط الصخور النارية الجوفية . تتوافق الكتلة الجرسية والقاطع الافقي مع الصخور الرسوبية الحاوية لها ، أما الباثوليت والقاطع فهما غير متوافقتين . ان الحرارة الناتجة عن الباثوليت تؤدي الى تحول الصخور المحيطة به .

واكبر الاجسام غير المتوافقة تسمى الباثوليث (١٨) . وهي تضاريس كبيرة جدا بحجم سلاسل الجبال كجبال سبرانيغادا في كاليفورنيا التي يبلغ طولها (٤٠٠) ميل وعرضها (٥٠) ميلا تقريبا . وتحوي سلاسل اخرى اكبر من هذه او اصغر على الباثوليث (انظر الشكل (٣ - ٧)) . ويبدو ان الباثوليث تبردت ببطء شديد لانها كبيرة جدا ولانها على ما يحتمل كانت على بعد بضعة الاف من الاقدام تحت سطح الارض . ولقد سمح هذا التبريد البطيء بتشكيل حبات كبيرة للمعادن ، ومن ثم فانه ليس غريبا ان يتكون الباثوليث ، بشكل رئيسي من صخور جرانيتية ذات بلورات كبيرة سهلة الرؤيا (انظر الشكل (٣ - ٨)) . أما الصخور النارية ذات الحبات الخشنة الاصفر من الباثوليث فتسمى ستوكات (جمع ستوك) (١٩) او بلوتونات (جمع بلوتون) . (٢٠) .

والقواطع (٢١) هي كتل جوفية غير متوافقة ومسطحة (٢٢) وتتراوح في

15. Concordant
16. Contact
17. Discordant
18. Batholiths

19. Stocks
20. Plutons
21. Dykes
22. Tabular



الشكل (٣ - ٧) : باتوليت (جمع) في
غرب الولايات المتحدة .

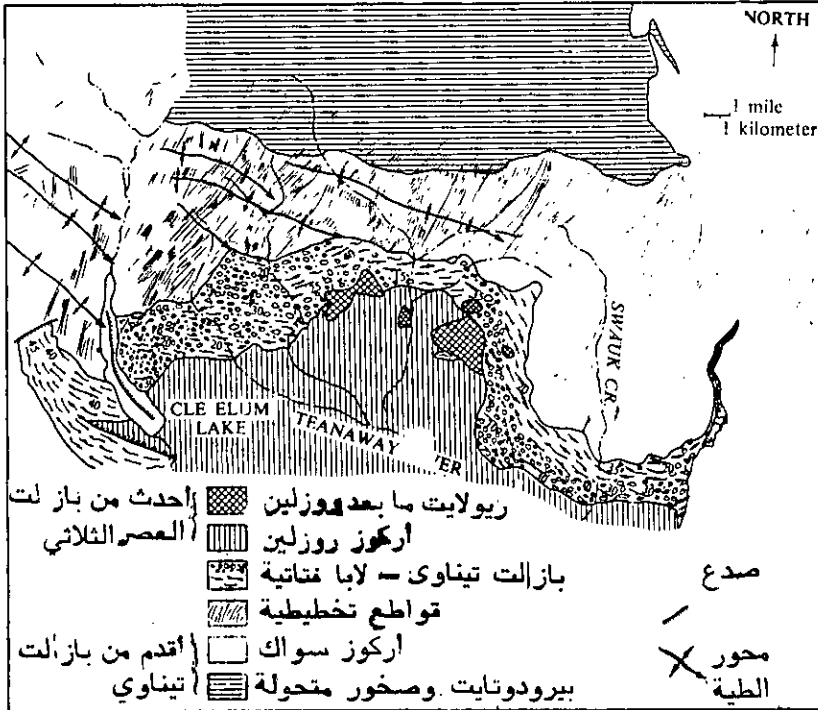
الشكل (٣ - ٨) : فنيج جرانيني خشن
ومندخل تشكل بالفلور من مصهور الصخر .
الموزة من مؤسسة Ward's للفلسوم
الطبيعية .



سمكها من بضع بوصات الى بضعة الاف من الاقدام ، لكنها على الغالب من
مرتبة بضعة اقدام الى عشرات الاقدام بعمكا . (انظر الشكلين (٣ - ٩ ،
٣ - ١٠)) . وطولها عموما اكبر كثيرا من عرضها ، وقد اختلفت آثار كثير منها
لاميال عدة . ويحتل كثير منها الشقوق ولها جدران مستقيمة ومتوازية وهي اذا
انكشفت بالحت تبدو قهما مرتفعة ، وذلك لان الصخور الجوفية تقاوم الحت
على وجه العموم .



الشكل (٢ - ٩) : قواطع في صخور رسوبية افقية . وهذه القواطع أكثر مقاومة للحث من الصخور الرسوبية . وفي مؤخرة الصورة ترى West Spanish Peak بولاية كولورادو



الشكل (٢ - ١٠) : مجموعة قواطع Teanaway dike swarm, Cascade Mountains, Washington . وفي بعض الأماكن فإن القواطع الموضحة في الشكل ، تشكل أكثر من ٩٠٪ من سطح الأرض .
الصورة من : R. J. Foster

أما الكتل الجوفية المتوافقة فهي القواطع الأفقية (٢٣) والكتل الجرسية (٢٤) وهي متشابهة جدا وكثيرا ما تتداخل بين طبقات الصخور الرسوبية . والقواطع الأفقية تكون عادة رقيقة ولا تشوه الطبقات الرسوبية . أما الكتل الجرسية فهي أكثر سمكا وكثيرا ما تقوس الرسوبيات التي أفقيها الى الأعلى ، وفي بعض الحالات تنتج الجبال (انظر الشكل (٣ - ١١)) .

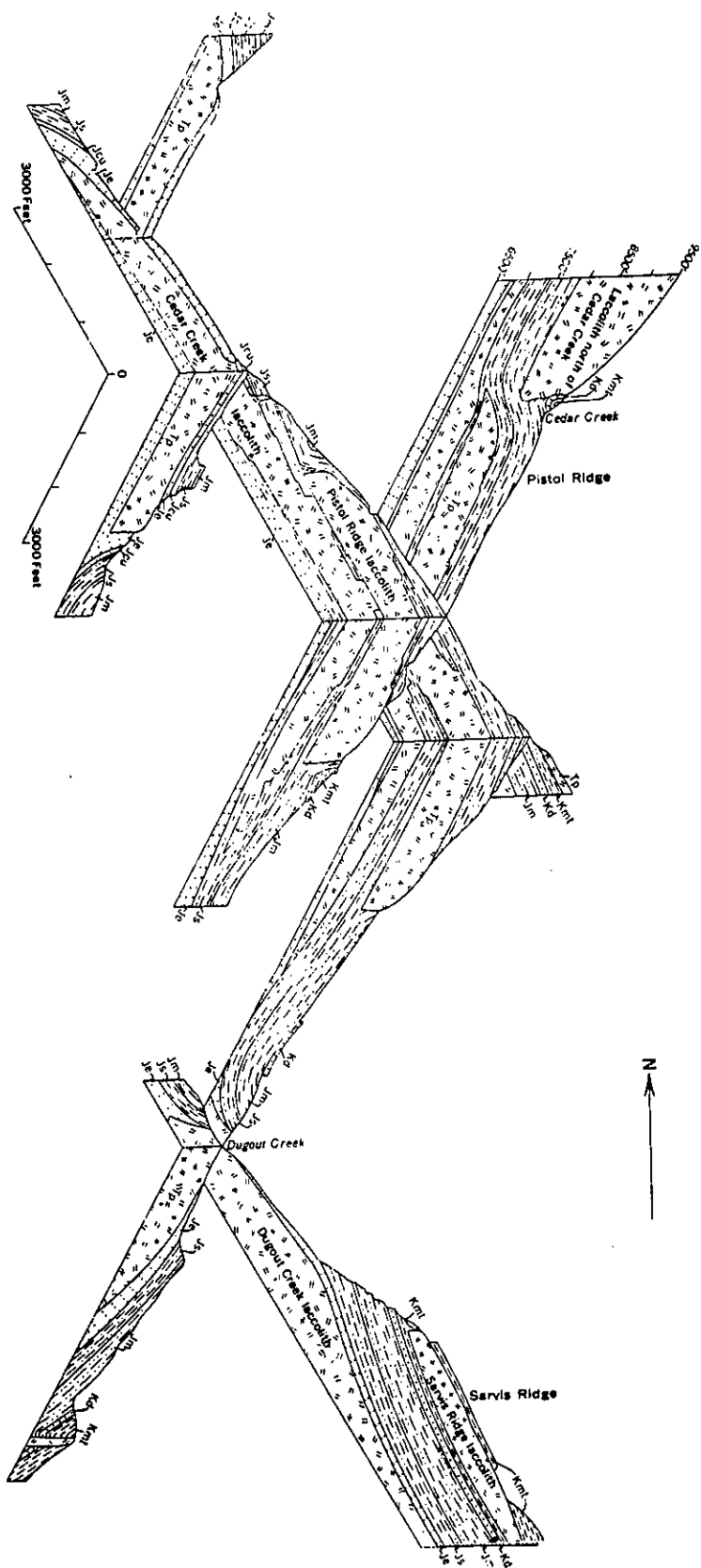
وتعتبر القواطع والقواطع الأفقية كتلا صغيرة عند مقارنتها بالباتوليث . ولكن مساحة سطحها أكبر كثيرا بالقياس الى حجمها ، ومن ثم فإن هذه الكتل تبرد بسرعة أكبر . ولذا فحباتها ناعمة على وجه العموم . أما الكتل الجرسية فحباتها عموما ذات حبات ناعمة لكنها قد تكون ذات حبات خشنة او متوسطة تبعاً لحجمها .

وتنتج الصخور السطحية من انسيابات اللابا (٢٥) ومن فعاليت بركانية أخرى . وهي عادة تبرد بسرعة . ولذا تكون ناعمة الحبات او زجاجية (الشكل (٣ - ١٢)) . اذا بردت بسرعة تمنع حدوث التبلور . وسنبحث الانواع الأخرى من الصخور السطحية عندما نصف البراكين .

يتكون كثير من الصخور النارية من خليط من البلورات الخشنة والناعمة وتسمى هذه بنية بورفيرية (٢٦) (الشكل ٢ - ١٣) . ومثل هذه البنية تسجل عادة ، مرحلتين من تاريخ الصخر . والبلورات الكبيرة تتشكل بسبب التبريد البطيء ، وقد يكون ذلك في طبقة من الماجما عميقة . ثم تتحرك الماجما الى أعلى في قشرة الأرض لتشكل قاطعا او قاطعا أفقيا او انسيابا . فيبرد الجزء المتبقي من الصخر منتجا حبات ناعمة او اطارا زجاجيا يحيط بالبلورات الكبيرة التي تشكلت أولا .

وقد يوصف الصخر المؤلف من اطار خشن وبعض البلورات الكبيرة بأنه بورفيرى ولكن المشكوك فيه أن يكون لجميع هذه الصخور مرحلتان من التاريخ بالشكل الذي تقدم وصفه .

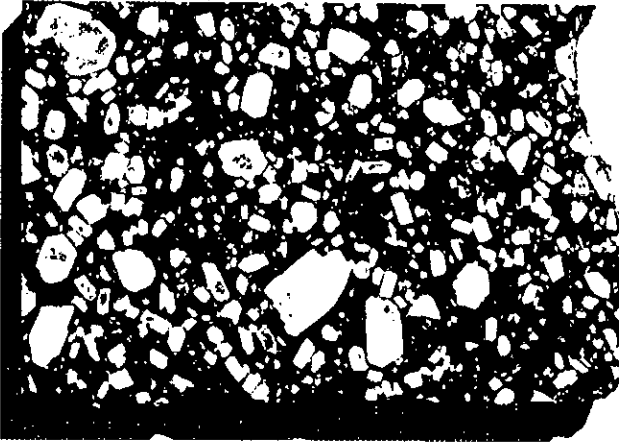
وتتبع درجة حرارة اللابا البازلتية بين (١٠٠٠م - ١٢٠٠م) واللابا الفلسيتية (٢٧) حوالي (٩٠٠ م) أما الصخور الجرانيتية فيعتقد أنها تركزت على (٨٢٠ م)



النتائج (١١ - ٢) من نتائج مسح في المنطقة في ١٩٥٥ ج. ب. هنت في جبال هنري بولاية يوتيسا . Henry Mountains . نشبه الحروف الى الوحدات المتفرقة .
 للمصدر من : ٢٢٨ ، ١٩٥٣ ، Professional Paper ٢٢٨ ، U. S. Geological Survey, C. B. Hunt, U. S.



الشكل (٣ - ١٢) :
الابوسيديان Obsidian
أو زجاج الإبراكين. يدعى
المكسر المستدير الذي
يشبه الصدفة بالمكسر
الحاربي (الصورة من
مؤسسة Ward's



الشكل (٣ - ١٣) : النسيج البورفيرى . تنمو بلـسـورات
الفلسبار فاتحة اللون خلال عملية تبريد بطيئة ، ثم ان تبردنا مفاجئنا
يمكن ان يكون مسؤولا عن انتاج الارضية القائمة ناعمة الجيات
الصورة من مؤسسة Ward's .

تقريبا . اما انسيابات اللابا المتقدمة في هاواي فقد سجلت درجة تنخفض حتى
(٧٤٥ °م) تقريبا . وزمن تبريد الصخور النارية ليس معروفا . ويعتقد ان
الباثوليث قد تصلب قبل مليون الى بضعة ملايين من السنين . اما القواطع
نانه يحتمل انها تصلبت قبل عشرات الالاف من السنين حسب حجمها . ومن

الجدول * (٣ - ١) : معدل تركيب الغاز البركاني

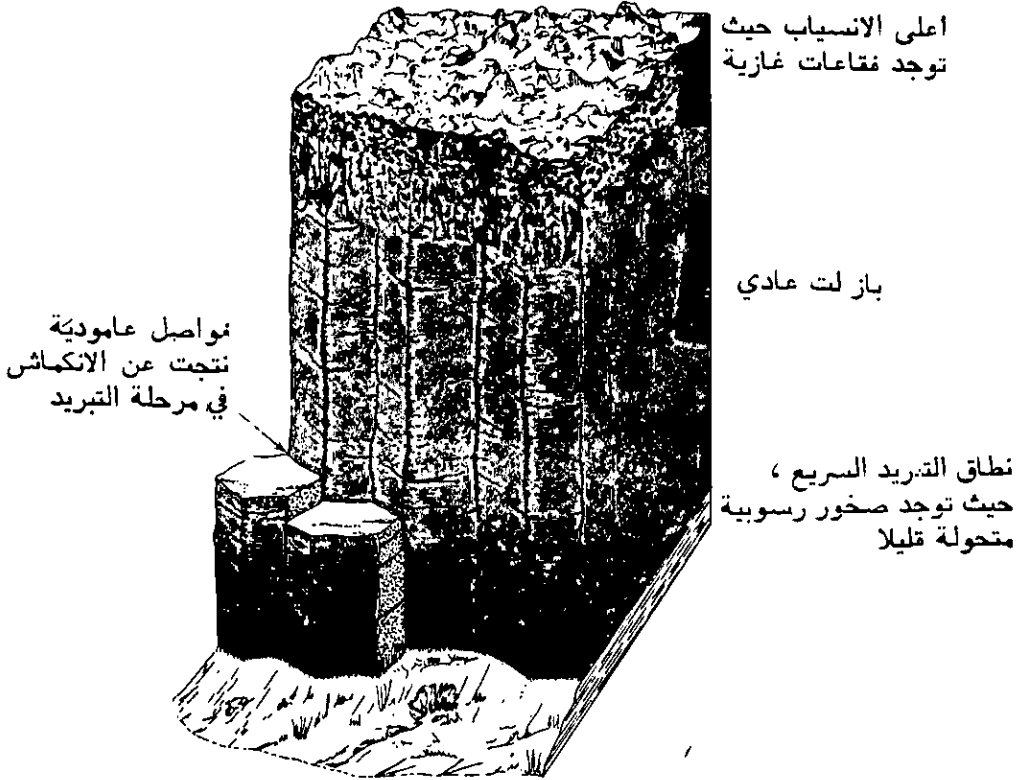
الحجم %	
٧.٧٥	الماء
١٤.٧	ثاني اكسيد الكربون
٣٣	هيدروجين
٤٥	نتروجين
١٨	أرغون
٦.٤٠	ثاني اكسيد الكبريت
١.٩٢	ثالث اكسيد الكبريت
١٠	كبريت
٠.٥	كلور
٩٩.٦٥ %	المجموع

العادي من بعض البراكين خاصة تلك التي مع الصخور المسامية . ويعتقد أن الانبعاثات (٢١) البركانية قد لعبت دورا هاما في تكوين المحيطات والغلاف الجوي كما سيبحث في الجزء الرابع (انظر الجدول ٣ - ١) . ولقد قدر أن الانفجارات الحديثة (٢٢) في هاواي تطلق (١ - ٢ %) من الغاز في المراحل الأولى للاندفاع وحوالي ١/٢ % في المراحل الأخيرة . ولقد دلت الدراسات المخبرية أن الماجما في الأعماق يمكن أن تحوى من (٥ - ٨ %) ماء مذابا .

ويمكن توضيح سلوك الماء والغازات الأخرى في الماجما البركانية بالتشبيه البسيط التالي : يعتقد أن معظم أنواع الماجما تحوى نسبة ما مئوية من الماء في المحلول . ويذوب الماء في الماجما تماما كذوبان غاز ثاني اكسيد الكربون في زجاجة صودا . ومعظم أنواع الماجما قادرة على إذابة الماء لأنها واقعة تحت ضغط

شديد بسبب وزن الصخور التي تعلوها . ويذوب الغاز في زجاجة الصودا بسبب الضغط داخل الزجاجة . وعندما تفتح الزجاجة ، ينقص الضغط ويبدأ الغاز بالخروج من السائل على شكل فقاعات . وبنفس الطريقة ، فانه عندما تندفع الماجة الى السطح فان الضغط المحصور ينقص ، ويتسرب الغاز الذي هو في هذه الحالة بخار الماء .

أما اذا كانت لزوجة الماجة عالية، فالغاز يتسرب بهدوء او انه يشكل فقاعات داخل الصخر الناتج . ويمكن تمييز اعلى اللابا من اسفلها بوجود هذه الفقاعات على السطح (الشكل ٣ — ١٤) . وتمتليء ثقب الفقاعات في بعض الاحيان بمواد تترسب من السوائل ، او انها تمتليء في وقت لاحق . وهذه المواد كثيرا ما تكون معادن السيليكا مثل الاوبال والكالسيدوني ، غير ان معادن اخرى كثيرة يمكن ان توجد معها . وتسمى الفقاعات الكبيرة الممتلئة بالجيودات (٢٢) او ببض



الشكل (٣ — ١٤) : مقطع في انسياب لابا .

الرعد (٢٤) ويبحث عنها جامعو الصخور النشيطون فيقطعونها ويصقلونها .
وإذا انبعثت ماجها مائعة بشكل مفاجيء ، فانه يمكن أن تشكل زبدا مكونا
من فقاعات صغيرة جدا وهذه تتصلب بدورها لتشكل صخرا خفيفا زجاجيا يدعى
حجر الخفاف (٢٥) . وكنتيجة للعدد الكبير من الثقوب فان حجر الخفاف قد يطفو
بسبب خفته . ويمكن أن يشبه تشكل حجر الخفاف بعملية فتح زجاجة صودا
ساخنة اذ تنطلق منها فقائيع الزيد . أما الصخر ذو الفقاعات الاكبر فيسمى
سكوريا (٢٦) .

وتجري الاحداث الاكثر عنفا عندما تندفع الماجها الاكثر لزوجة الى السطح ،
وعندما يحاول الغاز الانفلات . وفي هذه الحالة تتمزق الصخور اللينة من جراء
ضغط الغاز المتهدد . ويمكن ان يتمدد الغاز بشكل مفاجيء لدرجة أن الصخر
ينفجر ، تاذنا بالحطام في الهواء . ويسمى الحطام الناتج بهذه الطريقة
رمادا بركانيا اذا كان حجم حباته مثل حبات الرمل او اصغر ، وتسمى
حجرا بركانيا (٢٧) او حجارة بركانية اذا كانت اكبر . واصطلاحا الرماد والحجر
قد يفيدان الحرق ، لكن هذه الصخور بالطبع لم تنتج عن الحرق . ولقد استعملت
هذه المصطلحات اول الامر عندما كان يظن أن البراكين تنتج من حرق تحت
الارض فهي اذن غلطة تاريخية . وتسمى الصخور التي تنتج بهذه الطريقة
صخورا حطامية نارية (٢٨) (صخورا حطمتها النيران) . وتسمى انواع
الصخور الحطامية النارية حسب حجم حباتها بغض النظر عن تركيبها . فيسمى
الرماد المتصلب طفة (٢٩) ، فاذا احتوى الصخر بالاضافة الى ذلك حبات اكبر
سمى بريشيا طفية (٣٠) ، أما اذا كان مكونا بشكل رئيسي من الحبات الكبيرة
دعي بريشيا بركانية (٣١) (الشكل (٣ - ١٥)) . ان المشكلة الرئيسية بشأن
هذه الصخور هي تمييزها عن الصخور الرسوبية العادية الناتجة عن حت صخور
بركانية . وتدعى الصخور الاخيرة كونجلوميرات بركانية (٣٢) . على انه لا بد
من الدراسة الميدانية للتمييز بين هذين النوعين من التراكبات .
وتتشكل القابل البركانية (٣٣) من المادة الحطامية البركانية التي تقذف من

34. Thunder Eggs

35. Pumice

36. Scoria

37. Volcanic Cinder

38. Pyroclastic

39. Tuff

40. Tuff Breccia

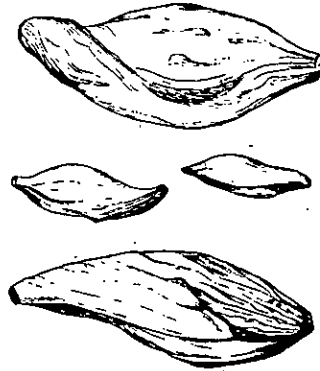
41. Volcanic Breccia

42. Volcanic Conglomerates

43. Bombs



الشكل (٢ - ١٥) : انكشافات outcrop لبريشيا بركانية . يتكون هذا الصخر من حطام صخور بركانية خشن الحبات وذو زوايا حادة في ارضية ناعمة الحبات . ان الحطام القاتم هو الانسيديان اما الفاتح اللون فهو من الخفاف (الصورة من المساحة الجيولوجية الامريكية (M. H. Staatz,



ب

الشكل (٢ - ١٦) : القنابل البركانية . ١ - قنبلة بركانية غير عادية طولها ١٢ قدم (الصورة من المساحة الجيولوجية للولايات المتحدة سنة ١٩٠٢ جنوب اوهاو I. C. Russell
ب - قنابل بركانية من جزر هاواي .

البراكين وهي ما زالت منصهرة ، وهنا ايضا نجد الاسم غير مناسب ، ويتعرف على القنابل من شكلها . ويفترض في السائل ان يأخذ شكل جدول مخطط عندما يكون في حالة الجريان . وتكون معظم القنابل البركانية الى حد ما لزجة عندما تقذف من البركان وتتصلب اثناء الطيران . ومعظمها يدور (١١) اثناء الطيران وعليه

فان لها شكلا متطاولا (الشكل (٣ - ١٦)) . وبعضها يكون ما يزال طريفا
عندما يصطدم بالارض فيتسطح .

وتتراوح الاندفاعات البركانية بين الهادىء والعنيف ، كما يستدل الوصف
من التالي . والامثلة المستعملة هي لبراكين ما زالت نشطة ، او حديثة لـم
يغيرها الحت كثيرا . ويعتبر البركان الذي ثار في العصور التاريخية بركانا
نشيطا ، لكنه قد يمكن التنبؤ عن اندفاعه او توازنه اذا سبق ذلك دراسة عن
قرب او دراستان موثقتان بأجهزة مناسبة ، وحتى في هذه الحالات لم يأت التحذير
الا قبيل الاندفاع مباشرة ولم يعرف مكان الاندفاع الا بشكل عام فقط . وعليه
هان الحكم على نشاط البراكين امر صعب .

ان الصخور التي تغطي معظم سطح غرب الولايات المتحدة بركانية ، وكثير
منها عمره عشرات الملايين من السنين . ويمكن ان يبدو هذا قديما لكنه نسبيا
حديث بالمقاييس الجيولوجية . ولقد ازيلت كثير من ملامح هذه الصخور بالحت
لكنها ما زالت تتميز بسهولة . فالاراضي البركانية المدفونة يصعب التعرف
عليها . ومثل هذه الصخور تظهرها في كل اجزاء الارض عملت رفع (او حت)
وعمر مثل هذه الصخور في حالات كثيرة مئات الملايين من السنين . وعليه فـان
دراسة البراكين الحديثة ستساعد في تفسير الصخور القديمة . وهذا مبدأ هام في
الجيولوجيا .

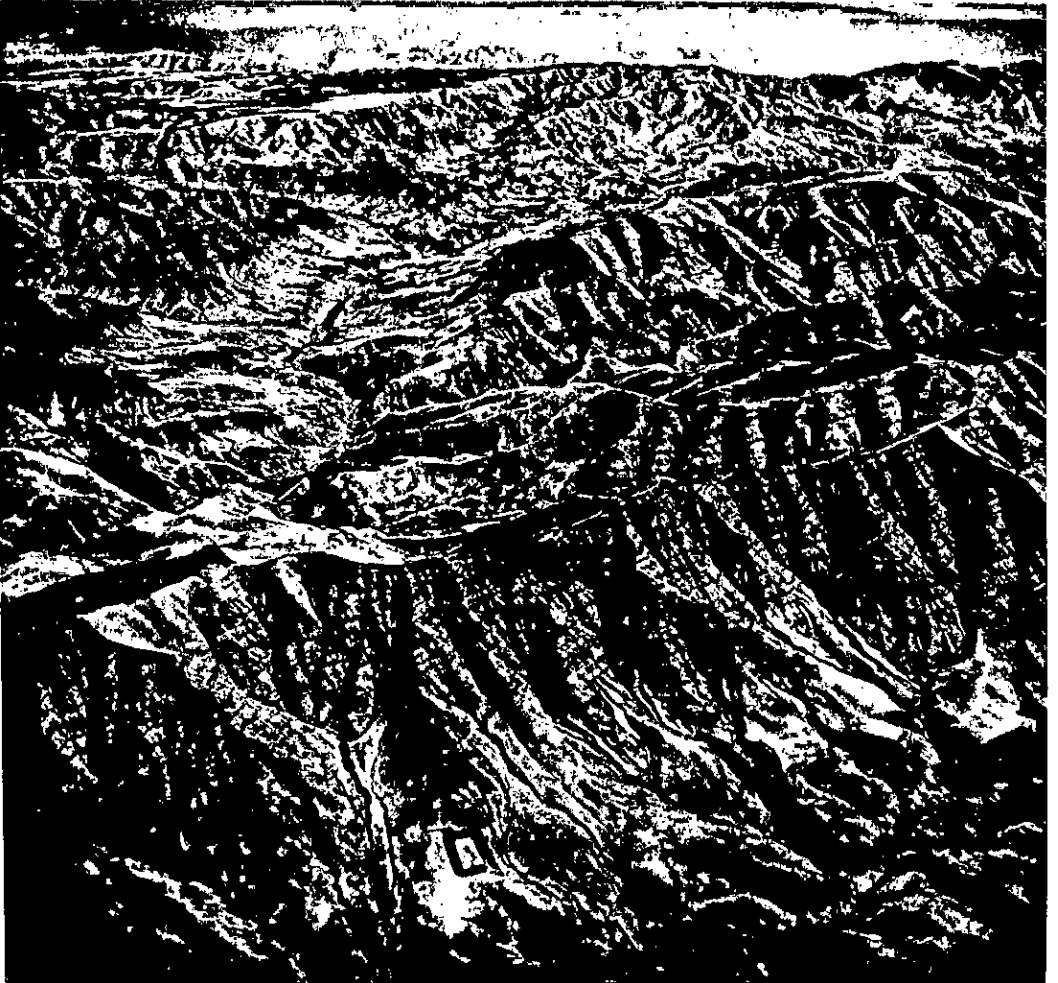
وتوجد البراكين الحالية تراكيبا في بضع مناطق ، مثل اطراف المحيط الهادىء ،
والبحر الابيض المتوسط والمرتفعات في وسط المحيط الاطلسي . وجميع هذه
المناطق نشيطة جيولوجيا وسوف تبحث في الجزء الثالث حيث ندرس الملامح
الاخرى لهذه المناطق (الشكل (٣ - ١٧)) . وسنبحث ايضا في الجزء الثالث
عن اصل الماجما وسوف نقيم الادلة البركانية المتوافرة .

ان اهدا الاندفاعات البركانية هي انسيابات اللابا التي تأتي من القواطع
وتجمعات القواطع . واللابا في هذه الحالة بازلتية وهي قليلة اللزوجة . وقد تبلغ
هذه الانسيابات الهائلة سماكات عظيمة وتغطي مساحات واسعة . ومثالنا
هو بازلت نهر كولومبيا جنوب شرق واشنطن وشمال شرق اوريجون السذي
يغطي مساحة تزيد على (٣٠.٠٠٠) ميل مربع بسماكة أكثر من (٥٠٠ رة) قدم في



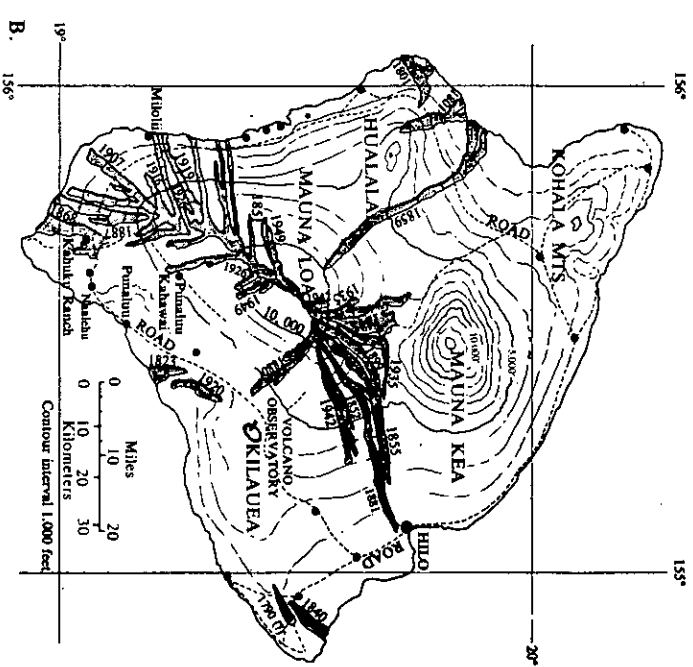
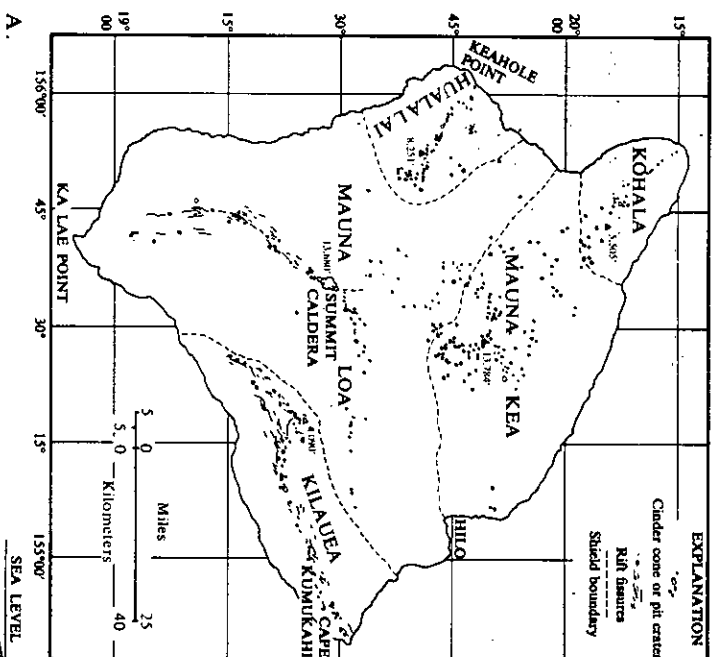
G. A. Waring, U.S. Geological Survey, Professional Paper 492, 1965. : الموزونة : . المناطق البركانية في العالم : الشكل (١٧ - ٢)

بعض الاماكن . ومصدر هذا الحقل من البازالت اربعة تجمعات من القواطع متباعدة جدا عن بعضها . ويجب أن يكون البازالت غير اللزج قد سال كالماء لان الانسيابات بعينها يمكن ان تتبع الى مسافة اكبر من (١٠٠) ميل (الشكل ٣-١٨) وتوجد حقول مماثلة من البازالت في اماكن متعددة من العالم* مثل سهول الدكن في



الشكل (٣ - ١٨) : منظر جوي مائل بجانب نهر Snake and Imnaha Rivers على حدود أوريجون - ايداهو . الصخور المنطقة على جانبي الوادي هي انسيابات بازالتية من بازالت نهر كولومبيا . اما الاجزاء السفلى من الوادي فانها مقطوعة في صخور متحولة تقع تحت البازالت . الصورة من المساحة الجيولوجية الامريكية .

* المنطقة البركانية الممتدة من غرب طبريا في فلسطين الى جبل الدروز وحوارن في سوريا السلي
الازرق في الاردن ووادي السرحان في السعودية هي ايضا مثال على ذلك (المترجم)



التي (٢ - ١٩) : خريتان لجزيرة هاواي - أ - تزي cinder cones, وشقوق هدية rift fissures وحدود خسة البراكين المكونة للمنطقة . ب - تزي التغيرات
 البريسا التاريخية حتى علم ١٩٥٠ (الموداد) . ج : مقطع في بركان Mauna Loa دون أي بهمة طورية .

الهند . وفي أماكن أخرى يندفع بازلت مماثل من فوهة مركزية ، فتتشكل
براكين الدروع ولقد سميت براكين الدروع لان الماجما السائلة تبني منحدرات
بسيطة الميل جدا تشبه الدروع (الشكل (٣ - ١٩) . وقد تكونت جزر هاواي



الشكل (٢ - ٢٠) : نوافير اللابا التي ترتفع ٣٠٠ قدم في منطقة Kilauea . ٢٣ أيلول
١٩٦١ . لاحظ احتراق الأشجار عند الأطراف النشطة للانسياب والتي تتغذى بالنوافير .
الصورة من المساحة الجيولوجية الأمريكية .



A.



B.

الشكل (٢ - ٢١) : ١ - منظر جوي ملال لقمة Kilauea . يعتقد ان الفوهة ليس الا
مظهر انهيار . اما الفوهة الداخلية Halemaumau ، فقد كانت موقع اندفاعات مع تشكل
نوافير لابة ، وفي بعض الاوقات ، فقد ملئت باللابا مشكلة بحيرة لابة . وهذا المنظر هو
في اتجاه الشمال ويرى مقطعا طوله ١٣٧٨٤ قدم من Mauna Kea . الصورة من المساحة
الجيولوجية الأمريكية . ب - المنظر في اتجاه الجنوب الغربي في Halemaumau على مظاهر
الانهيار والتي تشكلت في شهر شباط عام ١٩٦٠ . ثم تبع ذلك طور انهزامي . اما الحفرة
المبنية فهي حوالي ٧٥٠ قدما تحت الاطار . الصورة من المساحة الجيولوجية الأمريكية .

من مثل هذا النوع من الاندفاع الهادىء حيث أن أعنف عرض هو عند نوافير اللابا المتوهجة التي تندفع الى الاعلى من برك اللابا في وسط فوهة البركان (الشكل (٣ - ٢٠) ، (٣ - ٢١)) . وبالرغم من الميل اللطيف الانحدار فان جزر هاواي ترتفع مامجموعه (٢٨٠٠٠ ر) قدم عن ارضية المحيط الهادىء و (١٣٧٨٤ ر) قدما فوق سطح البحر .

وصخور البازالت المائعة التي تكلمنا عنها حتى الان تتميز بسطوحها التي تشبه الحبال (Pahoe-hoe) (الشكل ٣ - ٢٢) وعلى كل حال ، فحتى في هاواي ليست جميع هذه الانسيابات من هذا النوع . ذلك أن بعضها يكون أكثر لزوجة ، فيتصلب بسطحها خلال سيلانها ثم تتكسر الى كتل اذ تسحبها اللابا السائلة بضع بوصات تحت القشرة فتنتج اللابا المتكتلة (٤٥) (الشكل (٣ - ٢٣)) . ان مصطلحي حبلية ومتكتلة قد يصفان واقعا ، الا انها ليسا افضل مصطلحين ، وبعض الجيولوجيين يفضل الاسمين اللذين يعطيها أهل هاواي . وقد يتصلب سطح اللابا في بعض اماكن في حين يستمر الدآخل المجهور في السيلان مشكلا أنبوبا او نفقا في اللابا . ويمكن أن نرى أمثلة على ذلك في أماكن كثيرة ، من بينها لابا (٤٦) في شمال شرق كاليفورنيا . وما يسمى بفوهة القمر (٤٧) .

Cinder cones

المخروط التجمع

يحتمل انها تنتج من لابا أكثر لزوجة من اللابا المتكتلة . وتبني المواد الحطامية النارية التي ترى من الفوهة مخروطا حول تلك الفوهة . ويبقى حول الفوهة في القمة منخفض مركزي . ويتكون المخروط من طفة طوب وحجر ورماد وكتسل وقنابل . بريشيا (٤٨) (الشكل (٣ - ٢٤)) . ويبلغ الميل عموما حوالي (٣٠ °) وهو اقصى ميل يمكن أن يتشكل من مواد غير متماسكة . وتعتبر مخروطيات الحجر من المظاهر الشائعة ، وهي عادة حديثة العمر من المادة غير المتماسكة . سهلة الحث . ونادرا ما تزيد على بضع مئات من الاقدام ارتفاعا ، لان هذه المنحدرات غير مستقرة ، والمنحدرات غير المتماسكة هذه تسلقها متعب . وتتشكل هذه المخروطات غالبا من البازالت والانديزايت (٤٩) .

45. Blocky Lava

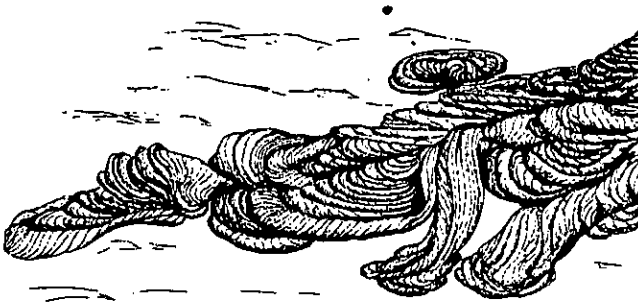
46. Modoc

47. Craters of the Moon, Idaho

48. Cinders

49. Andesite

أما الجبال البركانية المرتفعة جداً فهي عموماً براكين مركبة (٥٠) لأنها تتشكل من تجمع المواد الحطامية النارية مع اللابا . وهذه البراكين تتشكل عادة من الانديزاييت (وهو ذو تركيب متوسط بين الحامض والقاعدي) وتجتمع فيها الاندفاعات المتفجرة مع اللابا وجبلاً شاسعاً ورغيفاً أمثلة على ذلك ، (الشكل (٣ - ٢٥) . فتغطي اللابا المادة الحطامية النارية وهي بهذا تشكل الهيكل



الشكل (٢٢-٢) : لاها هبلية pahoehe



A.



B

الشكل (٢ - ٢٣) : لاها كتلية aa . ١ - لاها كتلية ومخاريط التجمع . ب - مقدمة انسياب شديدة الانحدار مكونة من إسفينيان لزج وكثلي . الصورة من قممات الفايكات الأمريكية .

الذي يمكن الجبل من أن ينمو . وتكون اللابا هنا أكثر لزوجة بحيث تسد الفوهات من وقت لآخر باللابا المتصلبة . وهذه السدادات تؤدي الى تجمع ضغط الغاز حتى يصبح اكبر من قوة السداد فينتسبب في انفجارات كبيرة او صغيرة . وتحت مثل هذه الظروف فانه يمكن أن تتشكل فوهات جديدة بجانب البركان . ومن الواضح انه كلما زادت لزوجة الماجما ، تصبح الانفجاعات المتفجرة أكثر عدداً او



الشكل (٢ - ٢٤) : منظر جوي لخروط التجمع الضخم Paricutin ، والذي بدأ في حفل ذرة عام ١٩٤٣ واستمر نشيطا لمدة تسع سنوات . ولقد انتشرت اللابا من شقوق vents تحسنت المخروط .. الصورة مأخوذة من متحف التاريخ الطبيعي - شيكاغو .



الشكل (٢ - ٢٥) : Mt. Rainier ، بركان كتلي مركب في جبال Cascade Mountains بولاية واشنطن .

أكثر تدميرا . لقد تشكلت البحيرة البركانية (٥١) في أوريجون (الشكل (٣-٢٦)) من الانفجار المدمر لقمة بركان شبيه بجبلي شاستا ورينييه . ومن الغريب أن حجم المادة التي القيت بعيدا من البحيرة المذكورة كان أصغر بكثير من حجم القمة الضائعة للجبل ، مما يوحي بأنه بعد تفريغ غازات الماجما المتفجرة فإن الماجما تهدأ وتهبط . أن معظم الفوهات البركانية الصغيرة منها والكبيرة إنما تشكلت من هبوط الماجما والكالديرا (٥٢) وهي الفوهات الكبيرة .

ولجزيرة كراكاتوا الواقعة بين جاوا وسومطرة تاريخ مشابه الى حد ما لما تقدم . لقد كانت بركانا على ارتفاع (٢٦٠٠) قدم فوق سطح البحر تشكل ضمن حلقة من الجزر البركانية . وقد كانت هذه تشكل اطارا لبركان اقدم هو الذي فقد قمته بطريقة يحتمل أن تكون كطريقة تشكل البحيرة البركانية (٥١) . وفي سنة (١٨٨٣) ، ثارت جزيرة كراكاتوا بانفجار دمر الجزيرة . ولقد كان



الشكل (٣ - ٢٦) : بحيرة Crater Lake في ولاية أوريجون ، وهي تملأ مقعرا نشأ بشكل جزئي من اندفاعات متفجرة وبشكل رئيسي من هبوط الماجما *subsidence* . أما الجزيرة الصغيرة التي في داخل البحيرة فهي Wizard Island فهي مكونة من مخروط بركاني صغير وفوهة .

رماد هذا الانفجار العظيم سببا في حجب الشمس وتمتع الناس في كل انحاء العالم ولدة طويلة بعد الثوران ، بمناظر غروب جميلة . واللابا التي تتراوح تركيبها بين الانديزيت والريولايت تميل الى اللزوجة وهي تسبب الانفجارات المتفجرة . فتعمل السدادات على اقفال الفوهة مما يسبب انفجارات عنيفة من كل نوع . ولقد وصفنا قبل قليل نوعا واحدا منها . وفي عام (١٩٠٢) ثار بركان جبل بيليه في جزيرة مارتينيك ، فتشكلت سدادة كبيرة في الفوهة واغلقتها الى ان دفعت هذه السدادة مسافة (١٥٠٠) قدم الى الاعلى محدثة مشهدا رائعا . لقد وصل ضغط الغازات في النهاية خدا مكن الماجما من أن تجد لها طريقا للعبور . ولقد كان الانفجار واحدا من اعظم الانفجارات التي شوهدت على الاطلاق ، وادي ذلك الى التعرف على نوع هام جدا من انواع الصخور الحطامية النارية (استرجع وصف تشكل الخفاف السابقة) . ولقد تمددت الغازات الماجماتية بشدة في (جبل بيليه) لدرجة انه بدلا من أن تشكل الخفاف ، فان الفقاعات الممتدة مزقت الخفاف كلية وانتجت بدلا منه غازا ساخنا وقطعا زجاجية صغيرة . ومثل هذا المزيج سهل الحركة متميع يمكن أن يتحرك بسرعة كبيرة الى اسفل حتى اذا كان الميل خفيفا جدا . وعندما يتوقف تلتحم القطع الزجاجية مشكلة طفنة ملتحمة (٥٢) وتسمى هذه الانفجارات بالفيوم المتوهجة او الجرف الساقطة (٥٣) . ان ثوران جبل بيليه عام ١٩٠٢ مسح مدينة سان بيير من الوجود وقتل جميع سكانها وكانوا (٣٠.٠٠٠) شخصا ولم ينج سوى سجين واحد لم يمت لان زنزانته كانت ذات جدران سميكة . لقد كان انفجار فيزوف المشهور من هذا النوع ، وهو الذي قضى على مدينة بومبي سنة ٧٩م ودفنها تحت انقاضه . وكثير من صخور الطفة الملتحمة تشبه جسر الزجاج البركاني (الابسيديان) (٥٥) او الفلسايت (٥٦) . ولم يعرف وجود هذه الطفة الملتحمة بكثرة الا حديثا . وهي تشبه في تركيبها الكيماوي الباثوليت ، اما وغرتها فيمكن أن تقارن بالبازلت . ولقد دلت الدراسة الحديثة ايضا على انه ليس من الضروري أن يكون جميع الطفة الملتحمة مقترنة بالبراكين القبية (٥٧) . ان معظم المنطقة المسماة بمنتره يلوستون القومي (٥٨) مغطاة بهذه الطفة الملتحمة ، ويحتل ان



الشكل (٣ — ٢٧) : Mount Lassen في حالة اندفاع وهو البركان الوحيد الذي اندفع في الولايات المتحدة بحدودها الحالية .



الشكل (٢ — ٢٨) : لايلا وسادية في منطقة خليج الاسكا . الصورة من المساحة الجيولوجية الامريكية .

ينابيعها الحارة قد حصلت حرارتها من لبا آخذة بالبرودة .
 ويعتقد أن قباب اللابا وسداداتها مثل سدادة جبل بيليه قد تشكلت خلال
 طور التضائل لبعض البراكين الكبيرة . ان البركان الوحيد النشط في الولايات
 المتحدة (عدا الاسكا وهاواي) هو جبل لاسن . وهو من هذا النوع . تتكون
 السدادة أو القبة من لبا لزجة جدا ، ويحتمل أن يكون خروجها كخروج معجون
 الاسنان من الانبوبة . والجزء الظاهر من قبة جبل لاسن يبدو انه يحقوي على
 رؤوس ملساء شديدة الانحدار ذات اخاديد راسية تكونت عندما دفع بالقبة إلى
 أعلى . لقد كانت انفجرات ١٩١٤-١٩١٥ انفجارات صغيرة وكان اعنف
 إحداثها تدفق الطين الذي نتج عن ذوبان الجليد (الشكل (٣ - ٢٧)) .
 والبراكين تحت المائية كثيرة ، وأحيانا تتدفق اللابا الى احواض المياه .
 فيؤدي هذا الى تبريدها بسرعة ، مما ينشأ عنه تجزئة اللابا الى اجسام
 اهليلجية . وتدعى الصخور الناتجة اللابا الوسادية * (٥٩) (الشكل ٣-٢٨) .
 وقد يزيل الحت الصخور الحطامية من البركان تاركا اللابا المتماسكة في مركز
 المجرى كما هو موضح في الشكل (٣ - ٢٨) .

ولا يمكن التنبؤ عن ثوران البراكين حتى الآن ، الا ان دراسات حديثة قد
 اجريت على عدد قليل من البراكين بدقة كبيرة وأجهزة وأمرة فأمكن بها تحديد



الشكل (٣ - ٢٩) : Shiprock, New Mexico ، يحتمل أن تكون جزءا من بركان
 قديم . ويمكن أن ترى القواطع متشعبة منه في الجزء اليسر العلوي والأرضية الامامية اليمنى.

ومن أمثلتها الجيدة في الوطن العربي بالقرب من سحار في عمان ورأس البسيط شمال غرب
 سوريا (المترجم) .

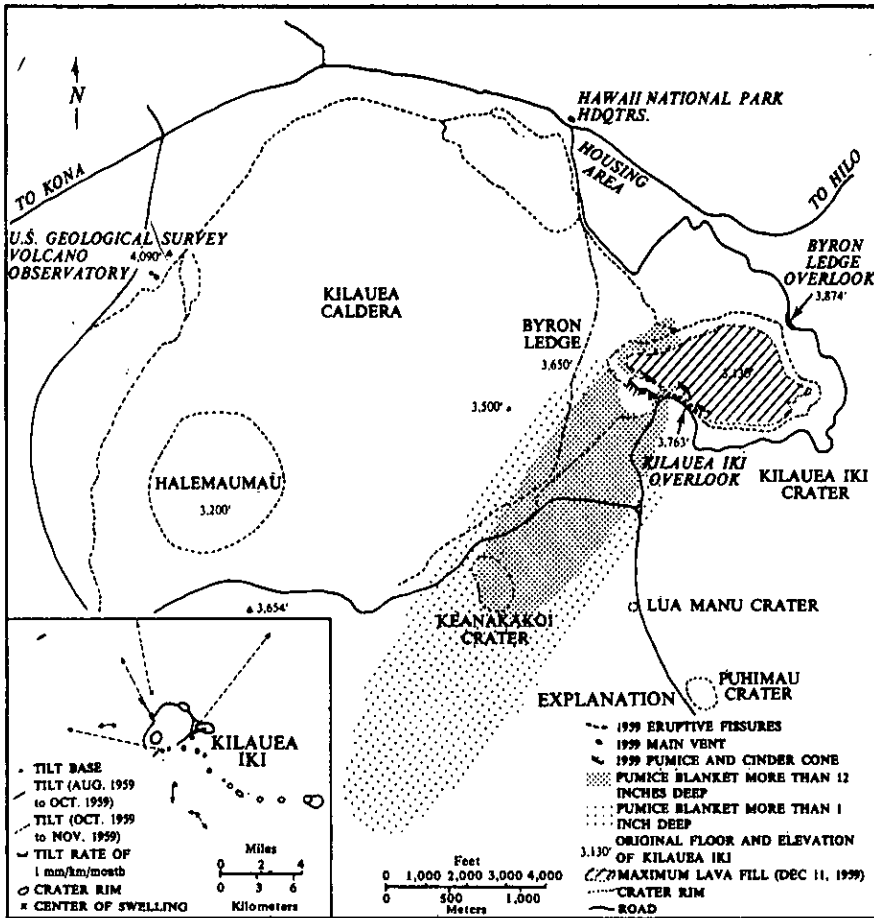
حركة الماجما بتعيين عدة آلاف من الزلازل الاربعة القليلة الفور البالغة الضعف، ويؤمل أن يمكن تحديد هذه الزلازل في النهاية من الكشف عن القوى التي تعمل على رفع الماجما الى اعلى . ويظهر ايضا انه قبل الثوران ترتفع الماجما الى اعلى فتنجم في حجرات قليلة الفور . وقد اوحى بهذه الفرضية أن البركان ينتفخ قبل أن يثور . ولقد كشف هذا بأجهزة لقياس الميل حساسة جدا . وبعمد الاندفاع يبدو أن الماجما تعود الى الأعماق . وهذا ايضا اشار اليه جهاز الميل^(٦٠) وفي هاواي اتضح هذا من جفاف بحيرات اللابا التي تتكون في فوهات البراكين هناك (الشكل ٣ — ٣٠) .

الاصل والتوضع

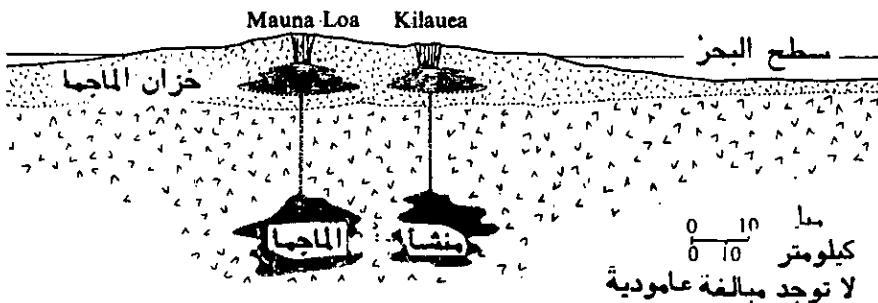
Origin and emplacement

مسألة اصل الماجما معقدة لا نملك حولها سوى وضع بضعة افتراضات . وفي فصول الجيولوجيا البنائية سنورد المزيد عن ذلك عندما ندرس البراكين وكتل الصخور النارية الاخرى ، وعلاقتها بالمظاهر المختلفة التي ترافقها . وتظهر المعلومات الاهتزازية^(٦١) ان الماجما البركانية تتشكل قرب قاع القشرة الارضية وتتحرك الى الاعلى الى حجرات قليلة العمق قبل أن تندفع الى السطح . ولا يعرف لماذا تتشكل هذه البقع الحارة الموضعية ، وليس معروفا على وجه اليقين ما اذا كانت الماجما مصهورة كليا او جزئيا ، أو عند القشرة أو الستار (الشكل (٣ — ٣١)) .

وعندما تتولد الماجما فان المسألة التالية هي : لماذا تصعد الماجما الى القشرة؟ ولقد وضعت عدة اقتراحات للإجابة على ذلك . فالصخور تتمدد كغيرها من المواد عند انصهارها . وعليه فان الماجما اقل كثافة من الصخور المجاورة فهي تميل الى الصعود ، تماما كالزيت الممتزج بالماء يصعد ويطفو على السطح . وقد توضح قباب الملح امر الحركة التي تنجم عن صعود المواد الخفيفة بعامل الجاذبية . فالقباب الملحية موجودة في اجزاء كثيرة من العالم ، وبسبب مرافقتها لحقول البترول فقد درست عن قرب . توجد القباب الملحية في الصخر—



الشكل (٢ - ٣) : خريطة بركان Kilauea ، Hawaii ، تري المظاهر الرئيسية
 Kilauea Iki عام ١٩٥٩ ، أما الخريطة الصغيرة الداخلية فتري اتجاه الميل في قمة
 Kilauea قبل الانفجار .



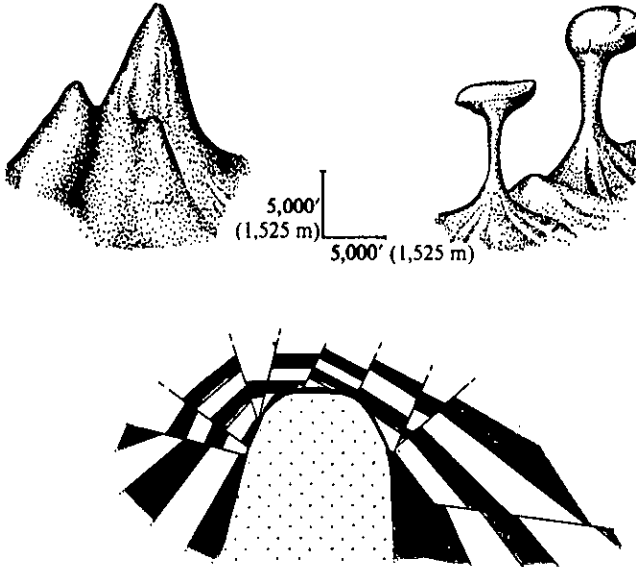
الشكل (٢ - ٣) : مقطع فرضي لجزيرة هاواي ، يري المصدر المحتمل ومناطق التجمع .

الرسوبية ، واصل الملح ناتج عن طبقات ملحية تشكلت بسبب تبخر مياه البحر . وستوصف الصخور الرسوبية بشكل اكمل في الفصل الرابع . والملح (واسمه الكيماوي هالايت) وزنه النوعي ٢٢ . والوزن النوعي للصخور الرسوبية يتزايد مع العمق لان الصخور التي تعلوها تضغط الصخور الاعمق منها . ان الوزن النوعي للصخور الرسوبية قرب السطح في شواطئ الخليج في الولايات المتحدة هي (١٩) ، وعلى عمق (٢٠٠٠) قدم يزيد هذا الى (٢٢) ، وهو يصل الى (٢٤) على عمق (٢٠٠٠) قدم . وفي هذه المنطقة نجد طبقات الملح على عمق كبير ومن ثم فهي اقل كثافة من الصخور المحيطة بها . ويحاول الملح الاقل كثافة ان يصعد ويطفو على السطح . وقد يبدو لنا ذلك غير ممكن لاننا نتصور الصخور مواد قوية وصلبة . لكنه لا يصعب ان نبين ان الصخور ليست قوية وانها لا تستطيع حتى ان تمسك نفسها . وسنتابع هذه القضية في الفصل (٤) . غير ان دققة تفكير يمكن ان تري ان للصخور قوة محدودة وان وزن الصخور التي تعلوها سيزيد عن هذه القوة عند عمق معين . فتحت هذا العمق تتصرف الصخور كسوائل لزجة . وفي هذه الحالة يتصرف الملح كسائل لسزج وتكون الصخور الرسوبية التي تعلوه ضعيفة جدا . ولكي يبدأ تشكل القبة الملحية ، قد يلزم نشوء حالة من عدم الاستقرار ابتداء مثل نقطة ضغط عاليه على طبقة الملح او ان يوجد ضعف او كسر في الرسوبيات التي تعلوها ، فيصعد الملح . وقد يبقى الملح الصاعد متصلا بطبقة الملح ويمكن ان ينفصل عنها تماما . وبأخذ السطح العلوي للقباب الملحية شكل الفطر على الغالب (الشكل (٣ - ٣٢)) . ولقد صعد الملح في شاطئ الخليج في الولايات المتحدة الى ارتفاع ثمانية اميال . ان ميكانيكية تشكل القباب الملحية معقدة ، وقد يرافقها هبوط في الصخور الرسوبية المحيطة بها .

والماجما اقل لزوجة من الملح ، لكنها كالمح من حيث انها اقل كثافة من الصخور في الاعماق . وعليه فان نفس الميكانيكية التي فسرت صعود قباب الملح يمكن ان تفسر صعود بعض الماجما . وان البنية الداخلية لقباب الملح تشبه الى حد ما البنية الداخلية لبعض الصخور الجوفية ، وبهذا تضيف تشابها اخر . ثم ان حرارة الصخور النارية تضعف الصخور المحيطة بها . ومن ثم فانها تساعد على الصعود .

ثم ان تمدد المواد الطيارة داخل الماجما هو مصدر محتمل للضغط . ولتقد بحث هذا في وقت سابق من حيث علاقته بالمظاهر السطحية للبراكين . وفي هذه الحالة ، فان المواد الطيارة في الماجما المشككة حديثا تميل الى التمدد كلما صعدت الماجما لان الضغط الذي يحصرها (وزن الصخور التي تعلوها) يقل . ويمكن ان يؤدي هذا الى تشقق الصخور التي تحصر الماجما مما يسمح للمagma ان تصعد اكثر .

وقد تعمل فقاعات الغاز المتعددة على حت الصخور الحاصرة للمagma . ولتقد استعمل هذا المبدأ في عمليات الحفر التي تسمى الثقب النفث (٦٢) . وقد تكون هي الالية التي تصعد بها بعض الصخور البركانية الى السطح . والامثلة على ذلك ، الاتابيب الاسطوانية المملوءة بالحطاميات النارية (٦٣) التي نجدها في بعض المناطق البركانية .

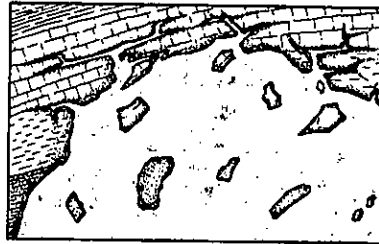


الشكل (٣ - ٢٢) : قباب ملحية ، تري اشكالا مشاركة والشقوق الناتجة في الصخور المجاورة بسبب تشكلها .

ان التفسير الكلاسيكي لتوضع الباثوليث في قشرة الارض هي صفائره (١٦) .
تتسبب الماجما الساخنة في تكسر كتل من الصخور التي تعلوها وتحصرها فتقع
الكتل في صفائر من المصهور . وتتطلب هذه العملية ماجما ذات لزوجة منخفضة ،
وهذا يفسح المجال لشوائب مختلفة في الماجما كي تتفاعل مع هذه الكتل الواقعة .



الشكل (٢ - ٢٣) : غرانيت مع كثير من المكتنقات القانية . مقياس ١ لرسم موضح
بقايا اليد .



الشكل (٢ - ٢٤) : Stopping ، ان حقن الماجما بقوة يكسر قطعاً من السقف والنسيج .
بدورها تفرق في الماجما وتتفاعل معها .

ومعظم الباثوليث تحوي كثيرا من المواد التي يحتمل أن تكون من الصخور الحاصرة مما يعطي بعض التأييد لهذه الفرضية (الشكلان (٣-٣٣)، (٣-٣٤)) . وهناك طريقة أخرى يحتمل أن تتخذ بها الماجما طريقها خلال قشرة الأرض وهي بالتفاعل مع الصخور الحاصرة فقد تستطيع الماجما بالتفاعل الكيماوي أن تذيب الصخور التي فوقها كليا أو جزئيا . ويحتمل أن يحصل انصهار جزئي أو كلي أيضا . وحتى يحصل الانصهار لا بد لكمية مماثلة من أن تتبلور في مكان آخر من الماجما لان الماجما لا تملك كمية من الطاقة الحرارية تكفي لعملية انصهار كبيرة . وهذه الطاقة الحرارية الزائدة لا بد أن تكون موجودة على شكل درجة حرارة عالية ، لكن اللابا وهي على سطح الأرض تكون قريبة من درجة انصهارها مما يشير الى أن الماجما عموما لا تملك حرارات عالية زائدة . وجميع هذه العمليات تقضي الى تغير تركيب الماجما عن طريق استيعاب اجزاء من الصخور الحاصرة . وقد تكون عمليتا الفصل والتفارق ماضيتين في الماجما أيضا .

توضع الباثوليث

Emplacement of batholiths

ان توضع الباثوليث مسألة رئيسية من مسائل الجيولوجيا . ان حجم الباثوليث العظيم كالذي في سيرانفادا يطرح مباشرة السؤال التالي : ماذا حصل للكميات الكبيرة من الصخور التي ازاحها الباثوليث . ولقد اجيب على هذا السؤال جوابان متناقضان . فقد ذهبت احدى مدارس التفكير الى أن الباثوليث قد وجد مكانا لنفسه بمزيج من عمليتي الحفر والدفع الجانبي للصخور الموجودة اصلا . اما ادلتها الرئيسية فهي الكتل الصخرية الكثيرة المدفونة في بعض الباثوليث (ويبدو أنها من الصخور التي كانت موجودة قبل الباثوليث) ثم منطقة الصخور القديمة المشوهة التي تحيط بالباثوليث . أما وجهة النظر المعارضة فهي أن الباثوليث قد تخلق في مكانه بعملية تحول الصخور التي كانت قبله حيث رافقت هذه العملية تشكل الجبال التي استقر اثناءها وضع الباثوليث . ولقد ضمنت هذه الفكرة في دورة الصخر (الشكل (٣ - ١)) . والدليل على هذه النظرية هو وجود الصخور المتحولة التي تحيط بمعظم الباثوليث (جمع) . وفي بعض الحالات نجد تحولا من رتبة عالية ينتشر على مساحة واسعة جدا ،

وفي حالات أخرى انها تكون الحرارة الناتجة من الماجما المتبلورة كافية لتكوين هالة صغيرة من التحول . ولقد دلت الدراسات الحديثة على أن معظم الباثوليث تحوي تراكيب من النظائر مختلفة عن صخور القشرة العليا ، ومن ثم فهي لم تتشكل بالتحول من تلك الصخور .

ويبدو من غير المعقول التفكير في أن باثوليثا عظيم الحجم مثل سيرانفادا قد اتخذ وضعه في وقت واحد . ولقد دلت الدراسات الحديثة على أن هذا الباثوليث مكون من عدد من كتل البلوتون الصغيرة . وتدل حواف هذه البلوتونات الناعمة الحبيبات التي تنجم من عملية تبريد أسرع ، على أن الباثوليث اتخذ وضعه في فترة تزيد على عشرات الملايين من السنين (الشكل (٣ - ٣٥) . ويعتبر الباثوليث عادة (نظرا لمساحة سطحه العظيمة) ، اجساما سميكة تمتد عميقا في القشرة . ولكن الدراسات الاهتزازية الحديثة (من النوع المشروح في الجزء الثالث) تشير الى أن الباثوليث قد يكون رقيقا نسبيا . ويرى الشكل (٣ - ٣٦) هذين التفسيرين للباثوليث .

ولقد جمعت هذه المعلومات جميعها في نظرية واحدة حديثة . وتقول هذه النظرية أن الباثوليث تشكل بصعود رقائق منفصلة من ماجما تولدت في أعلى العباءة أو عميقا في القشرة . كما تصعد الفقايع وتشكل هذه الرقائق من الماجما باثوليثا رقيقا قرب السطح . وفي بعض الاحيان ، تصل الماجما الى السطح وتشكل صخورا بركانية واسعة الانتشار ، ويحصر بعض الباثوليث صخورا بركانية مشابهة للباثوليث الاصلي في التركيب . وتميل هذه الرقائق للانتشار بالقرب من السطح ومن ثم فانها يمكن أن تفسر التشويه الذي يحيط بكثير من الباثوليث . وخلال مرورها من صخور القشرة ، فان الماجما تتفاعل مع هذه الصخور وقد تستوعب بعضها بالتفاعل والانصهار الجزئي وفي كل حالة تمر فيها الماجما من خلال الصخور فان هذه الصخور يعثر بها تحول . وان حث الطبقة الرقيقة من صخور الجرانيت يكشف عن تشكيلات جيولوجية واسعة شبيهة بتلك التي نجدها في سلاسل جبال كثيرة . وعليه فان هذه النظرية تفسر معظم المعلومات عن الباثوليث وتفسر ايضا أصل مناطق الصخور المتحركة الواسعة . ان هذه الاراضي المتحولة ، مثل الباثوليث ، يصعب تفسيرها لان ارتفاع درجة الحرارة المعروف مع العمق لا يكفي لتفسير كمية التحول .

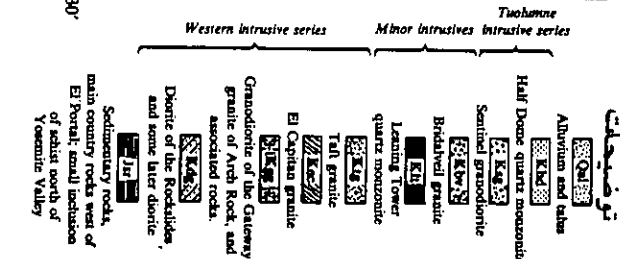
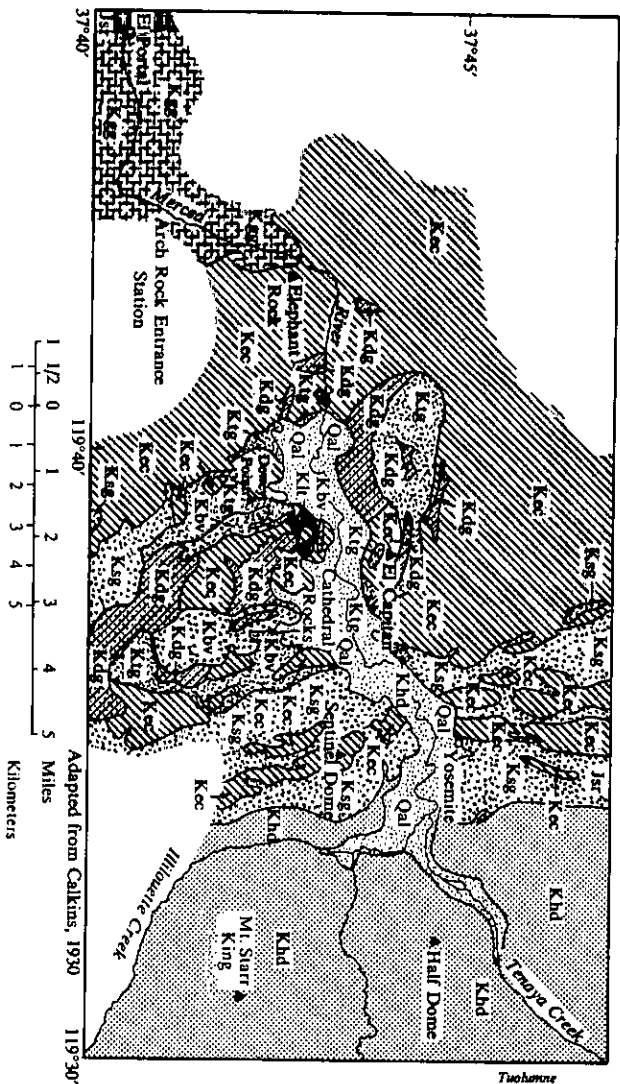
ان كثيرا من وجوه مسألة الباثوليث يمكن ان تعزى الى الاهمية البنائية للباثوليث . وهذه ستبحث في الجزء الثالث بتفصيل اكثر .

عروق الكوارتز والبجماتايت

Quartz veins and pegmatites

يعزى للماء وغيره من المواد الطيارة (الغازات) في الماجما السبب في تشكل العروق التي تحوي خامات معدنية . ففي كتلة جوفية عميقة مثل الباثوليث ، يبرد الاطار بسرعة ويتصلب أولا . يدل على ذلك ما في حوافه من حبات ناعمة من مواد جوفية . وبمثل ذلك قد تحصر المواد الطيارة داخل الكتل الجوفية ، وعندما تتصلب الكتلة ، من الخارج الى الداخل على ما يظهر ، فان المواد الطيارة هذه تنحصر في حيز اصفر واصفر في مركز الكتلة . وفي نفس الوقت فان النسبة المئوية الضئيلة من العناصر الثانوية الموجودة في الماجما مثل النحاس والزنك والرصاص والذهب والفضة والكبريت التي لا تدخل في البنيات البلورية للمعادن المكونة للصخور ، تتركز ايضا مع المواد الطيارة . والكمية الاجمالية من الفلزات الموجودة مع المواد الطيارة يمكن ان تكون كبيرة جدا خصوصا في حالة الباثوليث وهذا السائل غني ايضا بالكوارتز ، وهذا متوقع لان الكوارتز آخر المعادن تشكلا في سلسلة التفاعل الكيماوي . وفي نهاية الامر سيفلت السائل المتبقي ربما بسبب الزيادة في الضغط الناجمة عن تركيز المواد الطيارة في حيز صغير . ان الزيادة في الضغط يمكن ان تؤدي الى شقوق تمتليء بدورها بهذه المادة مكونة عروق الكوارتز التي تحوي رسوبيات المعادن (الشكل (٣ - ٣٧)) وقد يكون التقصص بسبب التبريد سببا هاما في تشكل الشقوق . ويمكن لرسوبيات المعادن ان تتشكل بطرق مختلفة و ليست الطريقة التي وضحت خطوطها العريضة اعلاه الا واحدة منها .

ومن نتائج وجود السوائل في الكتل الجوفية انقاص لزوجة الماجما ، ومن ثم زيادة حركة الايونات في الماجما . وبمثل هذه الطريقة وبطرق اخرى تفضي السوائل الى تمكين بلورات كبيرة جدا من النمو . فنتج حبات خشنة جدا من الصخر تسمى بجماتايت . وهذه يمكن ان يكون لها نفس تركيب الماجما الحاصرة

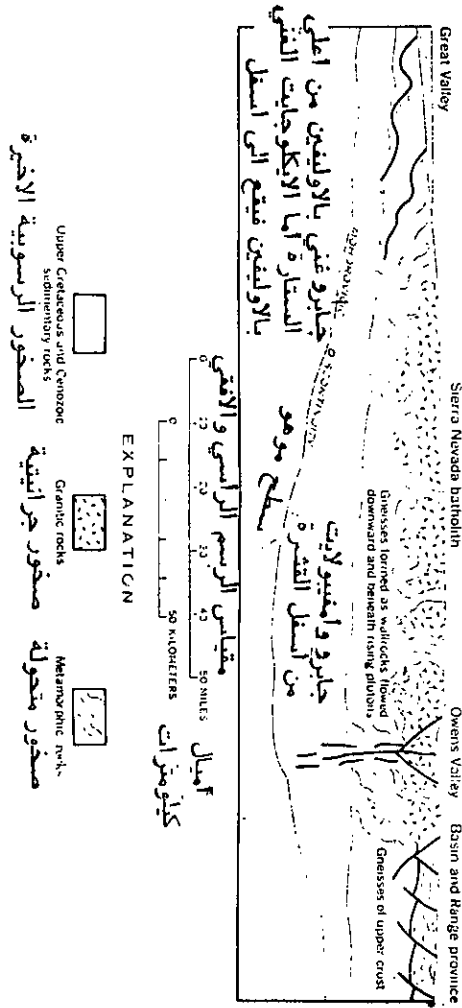


الصخر الرباعي الكريستالي الجوراسي وأقدم من الجوراسي

النسخ (٢ - ٣) : خريطة جيولوجية عامة لولاية Yosemite Valley في Sierra Nevada ، كاليفورنيا . أن بتقريب سيعتقادا مكون من أجسام انغمسية ر كما هو موضح في الخريطة . أن الجرانو تيريات والكوارتز مونزونيت هما نوعان من الصخور الجرانيتية ومن ثم أطلقا تحت اسم السلاج الجرانيت في هذا الكتاب .

صخور نايس تشكلت
كمحور جدارية ثم انسابت
الى اسفل تحت الباتوليت

صخور نايس من
اعلى القشرة

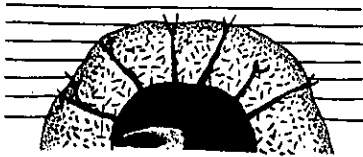


(٢ - ٣) : مقطع فرضي في سرانيفادا مبني على
اساس ان الصخور الجرانيتية (١) نواة للباتوليت تحركت خلال
الصخور المتحولة الى وضعها الحالي . وهذا المقطع مبني
جزئيا على معلومات اهتزازية seismic . قارن هذا
الشكل مع الشكل (٢ - ٦) الذي يري باتوليت اكبسو
سماكة .

لها ، انها قد تحوي معادن غير عادية . وفي الحالة الاخيرة يعتقد أن السوائل قد ركزت العناصر الثانوية فشكلت المعادن غير العادية . وتوجد البجماتايت عادة في كتل على شكل قواطع في داخل الكتل الجوفية او قريبا منها ، ويبحث عن البجماتايت باهتمام لانها غنية بالمعادن وبعض معادنها جميلة مثل البيريل (٦٥) وتورمالين (٦٦) وتوباز (٦٧) وفلورايت (٦٨) ، وجميعها من المعادن المكونسة للصخور ، وكثير غيرها .

وفي حالات اخرى فان هذه السوائل يمكن أن تسبب تغيرا (٦٩) في الكتلة الجوفية أو في الصخور المحيطة بها أو فيهما معا . وما نزال بحاجة الى دراسات اخرى لفهم افعال مواد الماجما الطيارة التي يعتقد بأنها تسبب جميع هذه الاتر المتباينة .

(٢ - ٢٧) : مقطع في بالوليت بنبلور ، يري اصل العروق . ولقد تقدمت عملية التبلور الى الداخل اي من الاطراف الناعمة العيسات والمتبردة بسرعة (الى الداخل حيث الحببات الاخشن المتبردة ببطء) اما المواد الطيارة فقد نجسعت في المركز الذي ما زال منصهرا . ان الضغط المتزايد يؤدي الى تشكل شقوق والتي يدورها نقيء بالمواد الطيارة الفنية بالكوارتز الحاملة للمعادن الغريبة .



ماجما غنية
بالمواد الطيارة

65. Byrel
66. Tourmaline
67. Topaz

68. Fluorite
69. Alteration

التعرف والتفسير

Identification and Interpretation

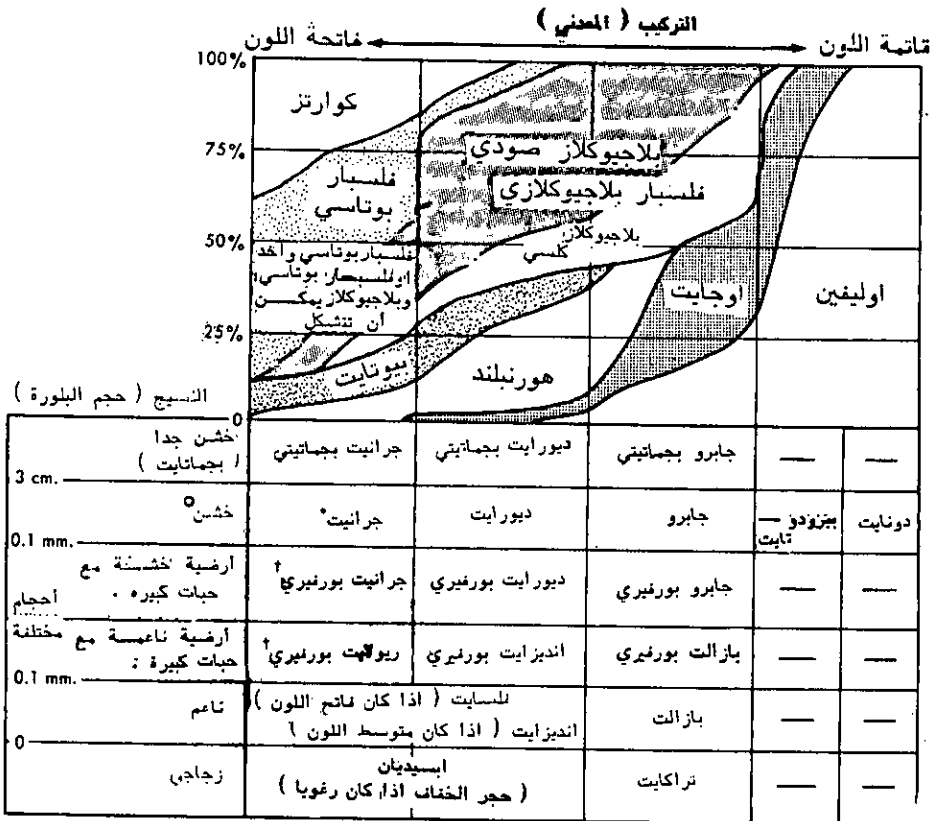
ان التعرف على الصخور النارية خشة الحبات لا يشكل مسألة صعبة اذا كان بالاستطاعة التعرف على المعادن وتقدير كمياتها النسبية. ويأتي الدليل الاول من لون الصخر فهو حسب اللوحة سيدل على المعادن التي يجب ان نفتش عنها . وعند استعمال مصطلح **اللون الفاتح** (٧.٠) يجب ان يفهم ان اي ظلال من الاحمر او الزهر مهما كانت قاتمة يجب ان تعتبر لونا فاتحا . وبالمثل فان اي ظلال من الاخضر يجب ان تعتبر لونا قاتما ويجب ان لا يعتمد على اللون الكلي كبديل عن عملية التعرف الجيدة على المعادن ، لان الاستثناءات تكثر الى حد مزعج (خصوصا عند الامتحانات) .

ومن ناحية اخرى فان الصخور الناعمة الحبات او البركانية يصعب التعرف عليها اكثر من الصخور الخشنة الحبات لان ما يتوافر من المعلومات التي تمكن من التعرف على هذه المعادن تكون اقل ، ولذا فان تصنيفها يبقى مرنا . وطريقة التعرف متشابهة ، في ان اللون هو الخطوة الاولى ، واذا لم تكن هناك بلورات بورفيريتية كان الخطوة الوحيدة . فاذا امكن التعرف على البورفيريتية ، فانها تستعمل بنفس الطريقة التي تستعمل بها المعادن القابلة للتعرف في الصخور الخشنة الحبات ، ولكن لان المعادن المحتملة الوجود قد تكون موجودة جميعها ، فانه يجب اعتبار اللون عند تقرير اسم المعدن ويجب الاحتراز من الخلط بين ثيوب الغاز المملوء وبين البلورات الكبيرة . وفي كثير من الحالات ، فانه لا بد من التحليل الكيماوي حتى يمكن تسمية الصخور ناعمة الحبات بدقة . ثم ان الصخور البركانية ليست كما قد توحي اللوحة مجرد مناظرة للصخور الساعمة سوى انها خشنة الحبات فهي قد تنطوي على اختلافات صغيرة الا انها مميزة وهذه يمكن ان يكشفها التحليل الكيماوي .

وفي اللوحة الموضحة في الشكل (٣ — ٣٨) استعمال اسم الجرانيت لمعظم الصخور الخشنة الحبات الحاملة للكوارتز . وهناك اسماء اخرى لهذه الصخور ، حسب احتوائها على فلسبار واحد أو اثنين أو فلسبار مختلط

(بيرثايت) (٧١) . ويتخوي الديورايت (٧٢) عموما على معادن قائمة أكثر مما يحوي الجرانيت أما الفلسبار فهو يلاجيوكلاز . ويتميز الديورايت الكوارتسزي باحتوائه على الفلسبار البلاجيوكلازي فقط . ولكن هذا التمييز لا يسهل دائما إجراؤه .

ان فهم كيفية تشكل الصخر أكثر أهمية بكثير من معرفة اسمه . ومن الضروري ان نبحت التصنيف حتى نفهم ما تعنيه أسماء الصخور والعلاقات بين انواعها المختلفة . ولذلك فعند دراسة الصخر ، حاول ان تفسر منشأه ، متبعا



أقد حذفت المعادن الثانوية

* استعملت لفظة جرانيت بأوسع معنى لها

† لقد حذفت كلمة بورغيري إلا إذا كانت البلورات شائعة جدا

⊙ استعملت كلمتا ناعم وخشن بنفس معنى كامل التبلور وناعم التبلور

الشكل (٢ - ٢٨) : تصنيف الصخور النارية . ويرى الشكل مدى التركيب المختلطي في

أنواع الصخور المختلفة .

بشكل رئيسي المبادئ التي مرت في قسم النسيج وانماط المنشأ. فالنسيج الخشن للجرائت يدل على أن العينة قد أتت من كتلة هوفية كبيرة بردت ببطء . أما عينة الخفاف (٧٢) فلا بد أنها أتت من بركان ، وربما من ثوران متفجر . وعند دراسة نقوءات حقيقية فقد نحتاج الى استعمال جميع المعلومات التي نبحثها هنا لمعرفة نشأة الصخور وتاريخها .

أسئلة

- ٣ - ١ عرف الصخر الناري .
- ٣ - ٢ صف تبلور مصهور بازلتي .
- ٣ - ٣ صف تبلور البلاجيوكلاز في ماجما .
- ٣ - ٤ ماذا يحدث اذا انصهرت بلورة بلاجيوكلاز كلسي
- ٣ - ٥ هل تصنف معظم الصخور النارية حسب تكوينها ؟ ابحث .
- ٣ - ٦ كيف يمكن تمييز القاطع الافقي من الانسياب .
- ٣ - ٧ ماهو تاريخ التبريد الذي يمليه نسيج بورفيرى .
- ٣ - ٨ ماهو الباثوليث ، ماهو التركيب المعتاد وماهي المشاكل التي يطرحها الباثوليث .
- ٣ - ٩ سم صخرا ناريا متوافقا .
- ٣ - ١٠ في اي نوع من انماط الوجود (القاطع الافقي ، الانسياب ، الباثوليث ، الخ) تتوقع ان تجد الصخور النارية الزجاجية وناعمة الحبات والبورفيريتيه وخشنة الحبات .
- ٣ - ١١ صف طريقة تشكل الخفاف .
- ٣ - ١٢ صف انواع البراكين واذكر كيفية تشكلها وايبها اشد انحدارا .
- ٣ - ١٣ صف طريقة تشكل عروق الخام .

مراجع اضافية

General

- Ernst, W. G., *Earth Materials*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1969, 150 pp. (paperback).
- Pough, F. H., *A Field Guide to Rocks and Minerals*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1955, 349 pp.

Igneous Principles

- Mason, Brian, *Principles of Geochemistry* (3rd ed.), Chapter 5, "Magmatism and Igneous Rocks," pp. 96-148. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1966.
- Tuttle, O. F., "The Origin of Granite," *Scientific American* (April, 1955), Vol. 192, No. 4, pp. 77-82. Reprint 819, W. H. Freeman and Co., San Francisco.

Volcanoes

- Aspinall, W. P., H. Sigurdsson, and J. B. Shepherd, "Eruption of Soufrière Volcano on St. Vincent Island, 1971-1972," *Science* (July 13, 1973), Vol. 181, No. 4095, pp. 117-124.
- Bullard, F. M., *Volcanoes of the Earth*. Austin, Tex.: University of Texas Press, 1976, 579 pp.

Crandell, D. R., and D. R. Mullineaux, *Volcanic Hazards at Mount Rainier, Washington*. U.S. Geological Survey Bulletin 1238, 1967, 26 pp.

Eaton, G. P., and others, "Magma beneath Yellowstone National Park," *Science* (May 23, 1975), Vol. 188, No. 4190, pp. 787-796.

Eaton, J. P., and K. J. Murata, "How Volcanoes Grow," *Science* (October 7, 1960), Vol. 132, No. 3432, pp. 925-938.

Macdonald, G. A., "Volcanology," *Science* (March 10, 1961), Vol. 133, No. 3454, pp. 673-679.

Macdonald, G. A., *Volcanoes*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1972, 510 pp.

Moore, J. G., "Mechanism of Formation of Pillow Lava," *American Scientist* (May-June, 1975), Vol. 63, No. 3, pp. 269-277.

Williams, R. S., Jr., and J. G. Moore, "Iceland Chills a Lava Flow," *Geotimes* (August, 1973), Vol. 18, No. 8, pp. 14-17. Describes the use of sea water in an attempt to save a fishing port from the hazards of a lava flow.

الفصل الرابع
التجوية والصخور
الرسوبية

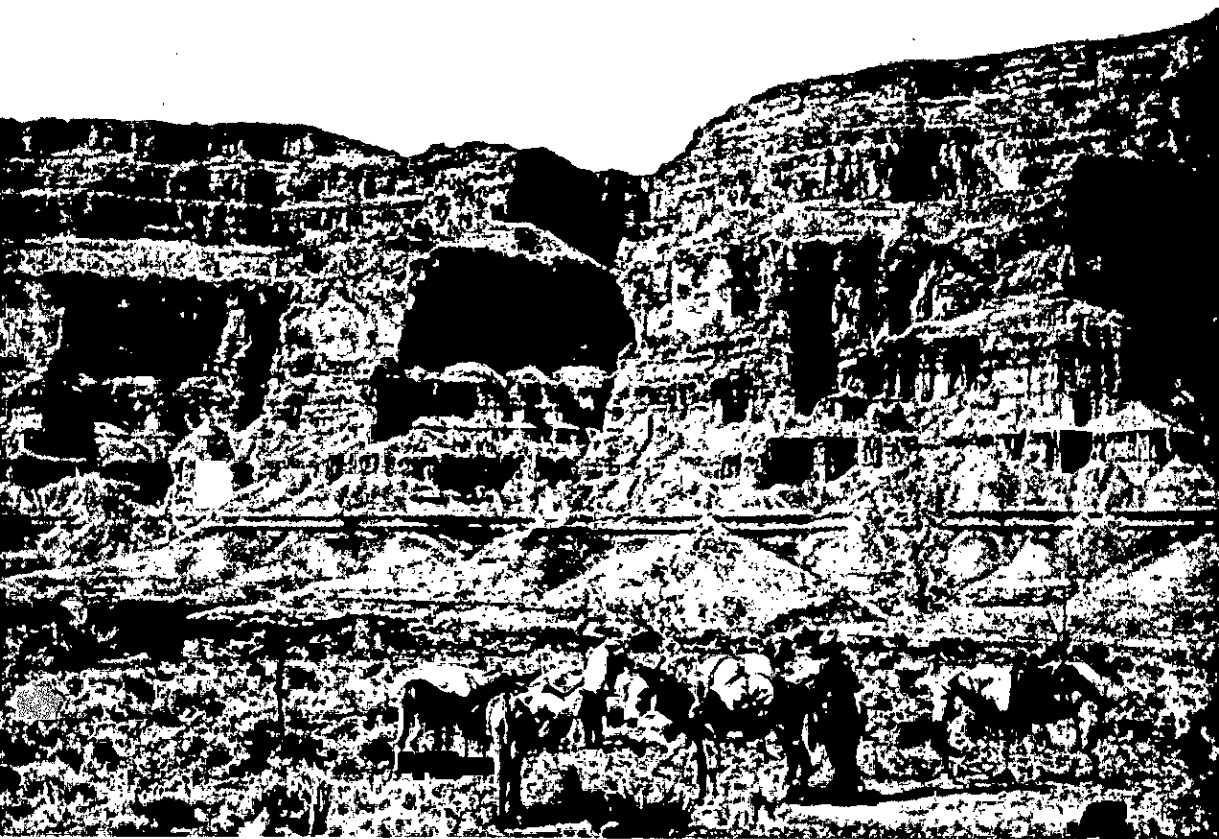
Weathering and Sedimentary Rocks

التجوية
التربة
التصخر
التصنيف والتشكل
ملامح الصخور الرسوبية
الترسيب
أسئلة
مراجع إضافية

الحائط الشمالي للاخدود الاعظم Grand Canyon . الصورة بواسطة

L. F. Noble سنة ١٩٢٠ مجموعة من المساحة الجيولوجية الامريكية .

Σ

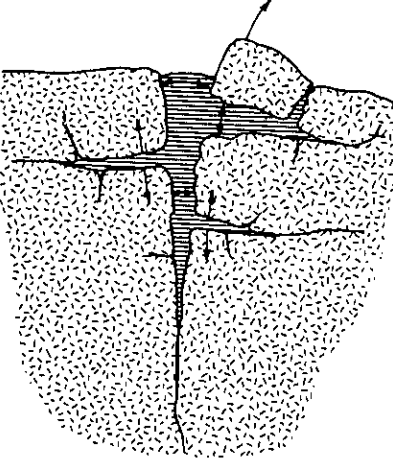


تشمل الصخور الرسوبية جميع الصخور التي تشكلت على سطح الأرض أو قريبا منه ومعظمها ترسبت في طبقات . وتشكل جزءا صغيرا جدا من حجم الأرض هو حوالي ٥٪ من قشرتها . وبالرغم من صغر حجمها فإنها تغطي حوالي ٧٥٪ من سطح الأرض . وتتشكل بعدة طرق مختلفة ، ولكن لان المادة الأولية (لهذه الصخور) تنتج من التجوية فسنبدأ بهذه الأخيرة .

التجوية

Weathering

تقوم التجوية الميكانيكية (١) بتكسير الصخور الموجودة الى حطام اصغر ، اما التجوية الكيماوية (٢) فتعيد ترتيب العناصر في معادن جديدة من خلال تأثيرها على حبات الحطام الصغيرة . وتنتج التجوية الميكانيكية بشكل رئيسي عن القوى الناتجة عن تمدد الماء بسبب تجمده ، ومن العوامل الاخرى قوى الجذور النامية ، والديدان وغيرها من الحيوانات التي تحفر (٣) والبرق واعمال الانسان ، وأهم هذه العوامل هو تمدد الماء بمقدار ٩٪ عندما يتجمد . ان قوى هائلة تنتج بهذه الطريقة ، وأثرها باد في طبقات الصخور السميكة المحطمة في المناطق التي تمر



الشكل (١ - ٤) : وتد الصقيع

Frost wedging . تنجد مياه الشقوق من أعلى إلى أسفل لأن الثلج أقل كثافة من الماء (يطفو) ولأن الماء الموجود في الشق يبرد أكثر مما يبرد عن السطح . ويؤدي هذا إلى إغلاق سطح الماء في الشق . وبما أن الثلج يحتل حجماً أكبر من حجم الماء ، فلن استمرار التجمد يخلق قوى بسبب هذا التمدد . وتؤدي هذه القوى إلى مزيد من التشقق في الصخر .



الشكل (٢ - ٤) : يعتقد أن الشقوق أو الفواصل الموازية للسطح قد نتجت بفعل التمدد . ويحدث التمدد بعد أن يزيل الحت الصخور التي تعلو . ولقد تباينت الصخور الغرانيتية ، حسب وجهة النظر هذه على عمق ميل تحت السطح على الأقل . أن الفواصل الكبيرة من هذا النوع غير واضحة في كثير من مناطق الصخور الغرانيتية .

خلال دورة يومية من التجمد والتميع عدة مرات في السنة (الشكل (٤ — ١)) وهناك نوع آخر من التجوية الميكانيكية ينتج بسبب تمدد الصخور عندما يخفف الحث وزن الصخور التي تعلوها . فقد تتمدد الطبقة الخارجية بما يكفي لانفصالها عن الكتلة الرئيسية ، مشكلة شقوقا وفواصل موازية للسطح (الشكل (٤ — ٢)) . ويمكن أن يحصل هذا في الجلاميد (٤) التي تنفلت بسبب فعل الصقيع وفي هذه الحالة ، فان طبقات كتشرة البصل يمكن أن تتشكل (الشكل (٤ — ٣)) . ومعظم تجوية الجلاميد بهذه الطريقة ناتج بسبب التجوية الكيماوية كما يلاحظ أدناه .

ويشمل نتاج التجوية الميكانيكية كل شيء من جلاميد هائلة توجد تحت الجروف (٥) الى جسيمات بحجم حبات الغرين (٦) . وفي القسم الثاني من هذا الكتاب سنبحث تحت هذا الحطام ونقله . وقد يشكل هذا الحطام صخورا كالحجارة الرملية . وان شكل حبات الحطام في مثل هذه الصخور يمكن أن يكشف



الشكل (٤ — ٣) : قد يؤدي تمدد الطبقات السطحية الى انتاج كتل كروية مثل طبقات البصلة . ويحتمل أن تكون هذه التجربة قد بدأت على شقوق الفواصل . وبالرغم من أن انفصال الطبقات هي عملية تجوية ميكانيكية ، فان تمدد الطبقات يعتمد الى حد كبير على التجوية الكيماوية . الصورة لبازلت من بورتوريكو من C. A. Kaye المساحة الجيولوجية للولايات المتحدة .

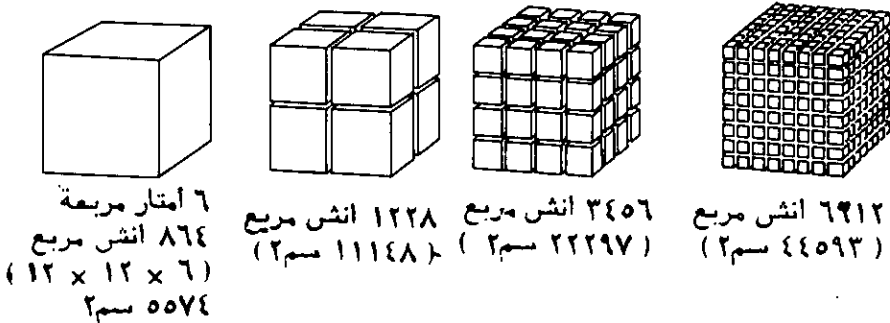
بعضاً من تاريخ الصخر . فانه اذا كانت الحبات حادة وزاوية (٧) فيحتمل ان تكون دفنت بسرعة اما اذا كانت مستديرة فانها تكون قد برت وصقلت خلال عملية نقل طويلة (الشكل (٤ - ٤)) .

وتعتمد سرعة التجوية الكيماوية بشكل عام على الحرارة ، ومساحة السطح ، وكمية الماء الموجودة . وباستثناء المناخات الباردة والجافة جداً ، فانها عموماً تجاري التجوية الميكانيكية حتى انه لا يمكن فصل الاثنين الا نظرياً . تقوم التجوية الميكانيكية بتزويد السطح الواسع الضروري لحدوث الفعالية الكيماوية على سطح الارض (الشكل (٤ - ٥)) .

والماء مهم في معظم انواع التجوية ويتقرر دور الماء الى حد كبير بينية الداخلية ، فجزء الماء يتكون من ذرة اكسجين وذرتي هيدروجين اصفر ، مرتبطتين بذرة الاكسجين على زاوية ١.٥ كما هو موضح في الشكل (٢ - ٦) .



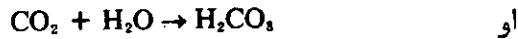
الشكل (٤ - ٤) : حبات رمل تري درجات مختلفة من الاستدارة . ويحتمل ان تكون حبات الرمل المستديرة قد اخذت شكلها هذا نتيجة التآكل abrasion أو البري أثناء عملية نقل اطول من الحبات الحادة .



الشكل (٤ - ٥) : مساحة السطح وحجم الحبة . يري الشكل كيف ان التجوية الميكانيكية تزيد مساحة السطح وبالتالي تساعد في زيادة التجوية الكيماوية .

وللهيدروجين شحنة موجبة صغيرة بينما الاكسجين له شحنة سالبة ضعيفة . وبسبب هذه الشحنات فان الجزيئات تميل الى التشكل في مجموعات من جزيئين الى ثمانية . وتشكل بالقرب من درجة التجمد مجموعات مما يتجمع في الحالة السائلة للماء ، ولان هذه المجموعات تحتل حيزا اكبر ، فان الماء يتمدد عندما يتجمد . ثم ان هذه الشحنات المتبقية هي التي تجعل الماء مذييا ممتازا .

واذا تتبعنا التجوية الكيماوية نستطيع ان نرى ماذا يحدث للعناصر في المعادن المكونة للصخور ، ان التفاعلات الرئيسية في التجوية الكيماوية هي الاكسدة والتمية والتفحم (٩) . — والاكسدة هي التفاعل مع الاكسجين في الهواء لتشكيل اكسيد اما التمية فهو التفاعل مع الماء ، ويعني التفحم التفاعل مع ثاني اكسيد الكربون في الهواء لتشكيل كربونات . ويبدأ تفاعل التفحم باتحاد غاز ثاني اكسيد الكربون مع الماء لتشكيل حمض الكربونيك .



ويلعب الحمض دورا هاما في تفاعلات تجوية كثيرة . وفي كل هذه التفاعلات ، تضاف مواد مما يؤدي الى زيادة الحجم الاجمالي . اما تفاصيل كيفية حدوث هذه التفاعلات فهي ليست مفهومة جيدا وهي تشكل قطاعا هاما في ابحاث علم التربة التي تجري الان ، وعلم التربة فرع من العلم الحديث ، ويجري التفاعل ببطء ويحتمل انه يتاثر بطبقة الماء الرقيقة التي تحيط بالحبات وبالمواد العضوية الموجودة (خصوصا الاحماض) . واحد هذه العمليات هي الفصل (١٠) وتعني ازالة المواد القابلة للذوبان بواسطة المياه الباطنية .

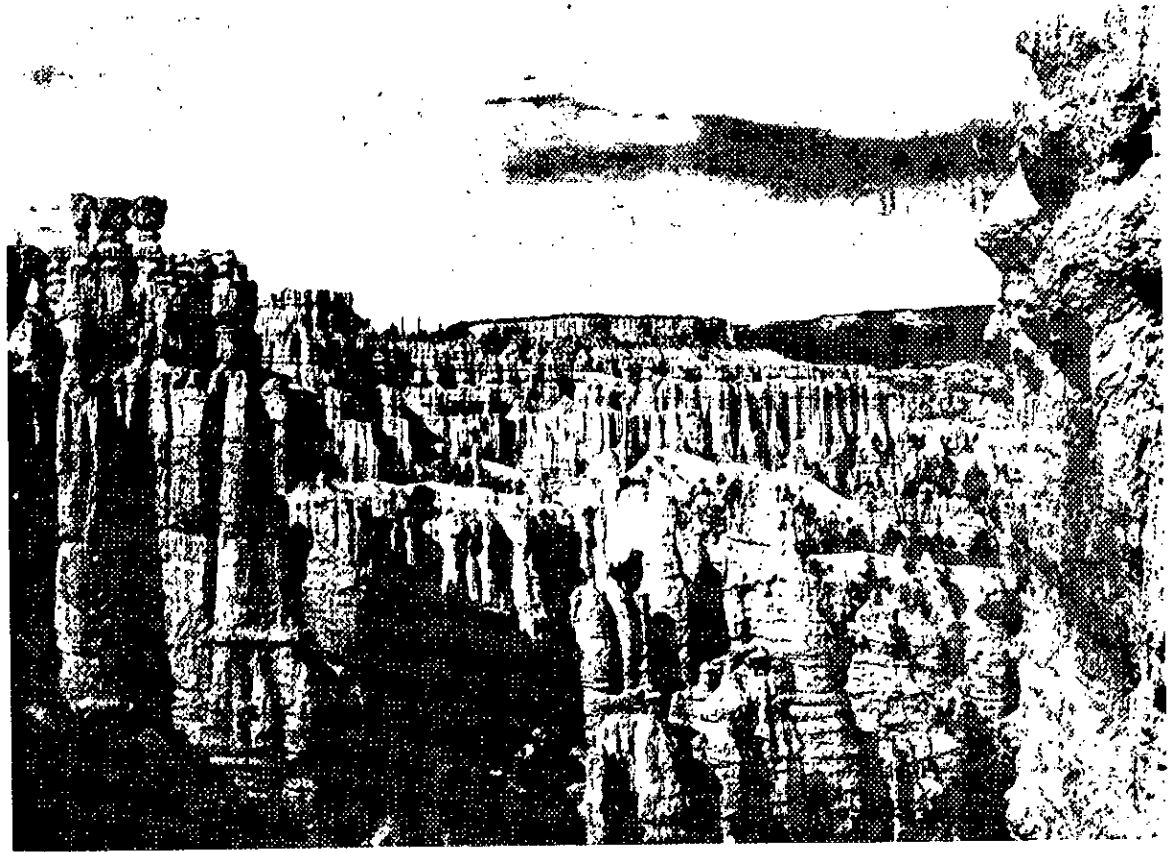
والماء الذي يدخل في معظم عمليات التجوية ، ليس ماء نقياً فهو يحوي بالاضافة الى ثاني اكسيد الكربون املاحا مذابة . اما بخار الماء الجوي فانه عموما لا يتكثف الى غيوم او مطر بدون نواة يتكثف حولها . وحبات الغبار تزودها ببعض من هذه النوى ، ومعظمها بلورات صغيرة من المحيط : يتبخّر رذاذ الامواج ، وتحمل الرياح بلورات الملح الصغيرة الناتجة بهذه الطريقة . وسنصف في قسم لاحق الملح الذي يتشكل عندما يتبخّر ماء البحر . وبالقرب من المحيط نجد لماء المطر نفس تركيب ماء البحر الكيماوي ، الا انه اشد تخفيفا . فاذا

بعدنا عن المحيط اخذ التركيب يختلف لأن الرياح تحمل الاملاح المختلفة — من المحيط وتوزعها بأشكال مختلفة . والتركيب الكيماوي لماء المطر تأثير فعلي على المعادن الطينية (١١) الناتجة من التجوية ، لكننا لن نزيد هنا على الموضوع المعقد للمعادن الطينية . وعلى كل حال ، فان الملح الموجود في مياه المطر يتجمع في البحيرات التي ليس لها منفذ الى البحر مثل البحيرة المالحة الكبرى (١٢). وتكون التجوية الكيماوية شديدة جدا على سطوح الحبات ، بسبب زيادة الحجم خلال التجوية الكيماوية ، ويمكن لهذه العملية أن تؤدي الى تفتت الصخر. ويمكن لهذه العملية أن تعطل تكسر الصخر في المناطق التي لا تحدث فيها التجوية الميكانيكية بواسطة الصقيع. ولقد اوضحت التجارب المخبرية أن التمدد والتقلص بسبب التبريد والتسخين اليومي لا يشكلان سببا كافيا لتحطيم الصخر حتى في الصحراء .

ويؤثر المناخ على الطبوغرافية (١٣) الناتجة عن التجوية فالمناطق الجافة حيث تسود التجوية الميكانيكية — تحوي عموما على جروف بارزة وحادة (الشكل (٤ - ٦)) * ، بينما تحوي المناطق الرطبة تضاريس مستديرة ، ويزوب الحجر الجيري (وهو يتكون من معدن الكالسايث — السهل الذوبان) مباشرة في حمض الكربونيك . وعليه فهو صخر مقاوم يشكل نتوءات بارزة في المناطق الجافة ، لكنه يتجوى بسرعة ويشكل اودية في المناطق الرطبة .

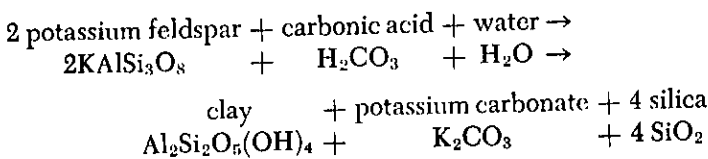
ويمكن تعريف التجوية الكيماوية ايضا بأنها التغيرات التي تجري بالقرب من سطح الارض حيث تحاول أن تعيد المعادن الى حالة التوازن مع ما يحيط بها . وتشكل المعادن الاولية — في معظم الحالات — على درجات حرارة وضغط مرتفعتين وتكون في توازن تحت هذه الظروف . وعندما تظهر هذه المعادن على السطح ، فانها توجد في ظروف بعيدة عن الظروف التي تشكلت فيها ، وعليه فانها تتفاعل لتشكل معادن جديدة تكون في حالة توازن (مع هذه الظروف) . ومن ثم ، فانه يمكن التنبؤ بأن المعدن الذي تشكل تحت اعلى درجات الحرارة

* ومثال اجمل من هذا الشكل موجود في جبال وادي رم ، جنوب الاردن والوديان المجاورة (المترجم)



الشكل (٤ - ٦) : تضاريس حادة Angular في منطقة جافة . ولقد ولدت
التجوية الميكانيكية اختلافات صغيرة بين الطبقات الرسوبية
المصورة من Union Pacific Railroad

يحتمل ان يكون المعدن الاول الذي يتأثر بالتجوية الكيماوية . وعليه فان سلسلة
بوين للتفاعلات (الشكل (٣ - ٢)) التي تبين تتابع تشكل المعادن مع هبوط
درجات الحرارة توضح ايضا الاستقرار النسبي ضد التجوية (اي المقاومة
النسبية للتجوية - المترجم) ، حيث نجد الاوليفين اول ما يتأثر ، ونجد الكوارتز
اقل المعادن تأثرا .
وتوضح تجوية الفلسبار البوتاسي التجوية الكيماوية ويمكن كتابة التفاعل
الاجمالي كما يلي :



فيحطم الفلسبار بعملية تحل الهيدروجين محل البوتاسيوم . ويمكن أن يأتي الهيدروجين من الماء أو حمض الكربونيك أو من أيونات الهيدروجين التي تحيط بجذور النباتات . والمصدران الأولان مصدران غير عضويين ، بينما يعتبر الآخر مثالا على التجوية البيولوجية . ويأخذ النبات البوتاسيوم المنطلق بالطريقة الأخيرة . ان المعدن الطيني الذي ظهر في التفاعل التوضيحي ليس المعدن الطيني الذي يمكن أن يتشكل . ان معادن البوتاسيوم والمغنيسيوم الطينية شائعة أيضا ، وتتشكل في بيئات التجوية . وتفاعلات تجوية الفلسبارات الأخرى مشابهة ، تختلف

فقط في أن الصوديوم والكالسيوم تدخل في التفاعل بدل البوتاسيوم . ان تجوية المعادن الحديدية المغنيسية هي أيضا مشابهة ، ويمكن أن تتشكل بهذه الطريقة معادن المغنيسيوم الطينية . وتتجوى المعادن الحديدية المغنيسية بسهولة أكبر لان الحديد يتأكسد بسهولة مما يحطم المعدن .

ويمكن تلخيص نتائج التجوية الكيماوية للمعادن الشائعة على النحو التالي :

— كوارتز : التجوية الكيماوية قليلة جدا ، تنفج حبات رمل

— الفلسبار :

— فلسبار بوتاسي ($KAlSi_3O_8$)

— K بالتفحم ينتج K_2CO_3

— $Al_2Si_2O_6(OH)_4$ بالتمية تنتج معادن طينية

— SiO_2 ينطلق على شكل سيليكات ذائبة وسيليكات غروية

— فلسبار بلاجيوكلازي : تنتج نفس النواتج النهائية الا أن كربونات الكالسيوم

$CaCO_3$ و Na_2CO_3 تنتج بدلا من كربونات البوتاسيوم K_2CO_3 .

— المايكا البيضاء (١٤) : نفس نتائج الفلسبار البوتاسي .

— المعادن الحديدية المغنيسية : حسب تركيبها ، تنتج نفس النتائج بالإضافة

الى أكاسيد الحديد — هيماتيت Fe_2O_3 (أكسيد الحديد الأحمر) اوليمونيت

$FeO(OH)$ (أكسيد الحديد الأصفر) *

ويشكل المغنيسيوم كربونات مغنيسيوم ذائبة وبعضه يستعمل في انتاج

* الليمونيت أكسيد حديد غير مبلور (amorphous) وغير ثابت التركيب . واللون الأصفر فيه يعزى (في أغلب الظروف) الى معدن الحديد الأصفر المعروف باسم جونايت $FeO(OH)$ — (المرجع)

المعادن الطينية . وباختصار ، فان منتوجات التجوية واوضاعها النهائية كما يلي :

اوضاعها	نتاج التجوية
تشكل الغضاريات (١٥)	معادن طينية
تشكل الصوان (١٦) وصخور مماثلة	سيليكات
يحمل بعضها الى المحيط ، ويستعمل بعضها	كربونات البوتاسيوم
في حياة النبات ويمتص بعضها على الطين وبعضها يؤخذ في نية الطين .	
تشكل الحجر الجيري	كربونات الكالسيوم
تذوب في المحيطات	كربونات الصوديوم
تشكل رسوبيات اكاسيد الحديد	اكاسيد الحديد
بعضه يحل محل الكالسيوم في الحجر الجيري	المغنيسيوم
ليشكل الدولومايت (١٧) وبعضها يحمل السلي	
المحيط	

من هذا الملخص العام للتجوية الكيماوية يمكن ان نعطي بعض التفسير للصخور الرسوبية . فكما هو متوقع ، فان معظم انواع الحجر الرملي تتكون بشكل رئيسي من الكوارتز لانه المعدن الاكثر مقاومة للتجوية . وتحوي بعض الحجارة الرملية على كثير من الفلسبار ، وتشكل مثل هذه الصخور تحت ظروف لا تسمح للتجوية الكيماوية باكمال عملها . ويمكن لهذا الوضع ان يتطور في عدة اتجاهات . فقد يكون التراكم سريعا جدا فلا يسمح بالتجوية الكاملة او قديكون المناخ جافا جدا او باردا جدا . وهناك بالتأكيد احتمالات اخرى ، غير ان ما نقدمه هنا مجرد مثال على الكيفية التي يمكن بها تفسير الصخور الرسوبية .

التربة

Soils

تعتبر التربة ذات اهمية اقتصادية كبيرة . ويمكن ان يقال عنها انها الجسر

بين الحياة وبين عالم الجهاد . وكما يعني هذا المصطلح ، فالترربة هي المادة التي تعتمد عليها حياة النبات ، وبهذا فهي عماد الحياة جميعها ، كالاشنيات (١٨) والنباتات البدائية فقط هي التي يمكنها ان تحصل على المواد الغذائية مباشرة من الصخور بدون التربة . ونشوء التربة عملية معقدة تشترك بها التجوية والعمليات البيولوجية . ودراسة التربة علم جديد الى حد ما ولذا فان كثيرا من الطرق التي بها تنشأ التربة ليست مفهومة كلية .

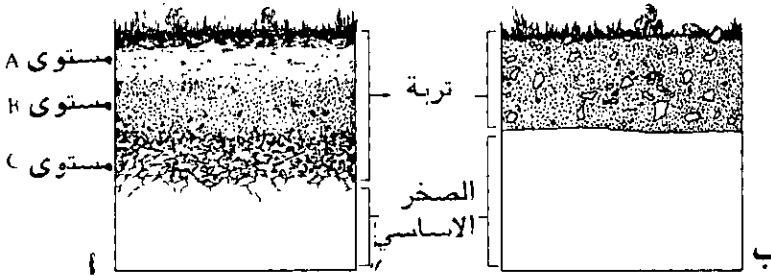
وتتضح اهمية التربة للحياة من تركيب بعض الاطعمة . فشريحة اللحسم تحوي ١٢.٥٪ من وزنها فوسفورا وحديدا وكالسيوم، وعليه فان كل رطل من شرائح اللحم (١٦ اوقية) يحوي حوالي اوقيتين من مواد صخرية حصل عليها النبات من التربة . ولا بد ان كمية الصخور التي تجوت حتى تعطي هاتين الاوقيتين اكبر من ذلك بكثير . ان النباتات تستعمل كثيرا من المواد الصخرية المجواة . ففدان البرسيم مثلا يعطي حوالي ٤ طن من البرسيم كل سنة . وحتى نحصل على البرسيم ، فان اكثر من طنين من الصخر لا بد وان تكون تجسوت لتعطي الفسفور والكالسيوم ، والمغنيسيوم ، والبوتاسيوم والعناصر الاخرى في البرسيم (١٩) . وهذا يساوي حوالي ٧.٠ ر. بوصة من الصخور المجواة . وتقدر سرعة الحت بحوالي ١ بوصة / ٩٠٠ سنة ، وهذا ما يعادل ٥ ر.م مرة من سرعة الحت السنوي . مما يؤدي الى استهلاك التربة بسرعة عالية جدا، ولهذا تضاف الاسمدة . ومن ثم فان التربة تستهلك بأسرع مما تتشكل ، وهذه حقيقة تؤخذ دائما بعين الاعتبار في الاقتصاديات الزراعية .

وهناك انواع مختلفة كثيرة من التربة . ولقد كان يظن ان الصخرة الام هي التي تحدد نوع التربة . لكننا نعلم الان ان المناخ اكثر اهمية من الصخر ، غير ان الوضع معقد اذ تتدخل عوامل اخرى وخصوصا نوع النباتات . وتوصف التربة بانها ناضجة او غير ناضجة . وقد يمنحها الحت من الوصول الى النضج .

¹ W.D. Keller, "Geochemical weathering of rocks: source of raw materials for good living," *Journal of Geological Education*, Vol. 14, No. 1, February, 1966, pp. 17-22.

فعلى سفوح الجبال تتجمع التربة المجروفة في الوديان (الشكل (٤ - ٧ ب)) .
ويبدو أن التربة تأخذ بضع مئات من السنين حتى تتطور . ولهذا السبب فإن
الحفاظ على التربة امر هام جدا .

في معظم انواع التربة يمكن التعرف على ثلاث طبقات ، وهذه هي التربة
السطحية (١٩) وتحت السطحية (٢٠) وطبقة الصخر المنحلة جزئيا .
وبالاضافة الى ذلك وفي بعض المناطق وخاصة الغابات فإن طبقة المادة
العضوية يمكن أن تتشكل على السطح (الشكلان ٤ - ٧ و ٤ - ٨) . والمادة



الشكل (٤ - ٧) : مقاطع في التربة أ - تربة متبقية ذات طبقات متطورة جيدا .
ب - تربة منقولة بدون طبقات .



الشكل (٤ - ٨) : مقطع في التربة
انكشف في صفه . (الصورة من المساهمة
الحيوانية الامريكية H. E. Malde

التي تعطي الاجزاء العليا لكثير من انواع التربة لونها القاتم ، هي الدبال (٢١) وتشكل مادة الدبال بفعل البكتيريا والعفن (٢٢) على مادة النبات في التربة . فتحرر التجوية الكيماوية بعض المواد التي تستعملها النباتات ، ويقدم الدبال ايضا طعاما للنباتات .

وتتشكل التربة كنتيجة لعمليات التجوية التي بحثت قبل قليل ولتأثيرات المادة العضوية الموجودة بشكل رئيسي على شكل دبال . ومن اهم عمليات تشكل التربة غسل المادة من التربة السطحية وترسيبها في التربة تحت السطحية . ويتفاعل الماء مع الدبال ، يتشكل حمضا فعلا جدا في عملية الغسل وفي التجوية الكيماوية ، وفي وقت سابق بحثنا في الدور المائل لحمض الكربونيك ، الذي يتشكل من ثاني اكسيد الكربون والماء . ويتشكل ثاني اكسيد الكربون في التربة ايضا من تعفن المادة العضوية .

ويمكننا الان أن نعتبر بضعا من انواع التربة الاكثر اهمية . ففي الولايات المتحدة فان تربة الشرق الرطب تختلف عن الغرب الاكثر جفافا . ويقع خط التقسيم تقريبا على خط مطر ٢٥ بوصة سنويا . ويسير من الشمال الى الجنوب تقريبا قرب خط طول ٩٧ (الشكل (٤ - ٩)) . ويلخص الجدول (٤ - ١) صفات التربة المميزة التي ستبحث .

(٢٢) والتربة السائدة في شرق الولايات المتحدة تربة حديدية الومنية تسمى



الشكل (٤ - ٩) :
خريطة لانواع التربة
الرئيسية في الولايات
المتحدة . ويقع خط
التقسيم تقريبا على خط
٢٥ بوصة مطر سنويا
تقريبا باستثناء شمال
جبال روكي حيث الحرارة
المتدنية تؤثر في نوع
التربة .

متطرف متطبي ، صحراوي متطرف (صاراو بارد)	مداري سافانا (اطار موسمي غزيرة)	درجة الحرارة جاف (اقل من ٢٥ متر)	درجة الحرارة جاف (اقل من ٢٥ متر)	المنح
لا يوجد تقريباً لذلك لا يتطوّر الدبال	اعشاب، واشجار	طبقة اعشاب	طبقة اعشاب	الغطاء النباتي
—	—	غرب الولايات المتحدة	شرق الولايات المتحدة	منطقة نموجية
لا تشكل أي تربة حقيقية لانه لا توجد مادة عضوية التجوية الكيماوية بطينة جدا	لاتريت Laterite	كلسية Pedocal	حديد الومنية Pedalifer	نوع التربة
	غنية بالحديد (والالومنيوم) ، لونها احمر قرميدي	عادة غنية بالكالسايت ، مبيضة اللون	رملية ، فاتحة اللون ، حامضية	التربة السطحية
	جميع العناصر قد ازيلت بالفسل	غنية بالكالسايت (مبيضة اللون)	غنية بالالومنيوم ، والحديد، والمعادن ، طينية لونها بني (ليمونيات)	التربة تحت السطحية
	يبدو أن البكتيريا تخرب الدهال ولذلك فلا توجد احماض لازالة الحديد وفي غابات المناطق المذارية . يعمل المطر على نمو تربة تشبه تربة الحديد والالومنيوم (البهلورية)	غنية بالكالسايت	نمو غير عادي في غابات المنغوير لان كمية الدبال الكثيرة تجعل المياه الباطنية حامضية . تنتج تربة رمادية فاتحة بسبب ازالة الحديد	ملاحظات

بدلفرية (٢٤) . هناك ينمو الدبال جيدا في المناخ الرطب الحار . ومياه الامطار الكثيرة تصبح حامضة جدا بالتفاعل مع الدبال ، فتغسل التربة السطحية . ويترسب الحديد والالومنيوم المغسول من التربة السطحية في اكثر المنطقـة تحت السطحية مما يعطيها لونا بنيا (ليمونايت) . أما الكالسايت والدولومايت وغيرهما مما ينحل بالماء فانه يغسل من هذا النوع من التربة وتحمله المياه الجوفية . وهذه التربة حامضية وفيها تتكون المعادن الطينية بكثرة . فتحمل المياه الجوفية المعادن الطينية الى التربة تحت السطحية ، ومن ثم فان التربة السطحية تصير الى حد ما رملية بسبب حبات الكوارتز الشديدة المقاومة .

واحسن ما تكون التربة الحديدية الالومينية (البدلفرية) تحت الغابات . فغابات الصنوبر تنتج طبقة سميكة من نثار الاوراق والاغصان على ارضية الغابة ومن ثم تنتج مزيدا من الدبال فتزداد التربة حموضة ويزداد تطورها حدة ، وتنتج تربة رمادية قاتبة في لونها ، وفي التربة الحديدية والالومينية يفرش الكالسايت على التربة ليقاوم حموضتها ولذلك يسمى الكالسايت بالجـير الزراعي .

وفي الغرب (غرب الولايات المتحدة) الاكثر جفافا تكون كمية الدبال الناتجة اقل ، ومن ثم فان الكميات القليلة من المياه اقل بكثير ، تكون فاعليتها الكيماوية اقل ، ثم ان التجوية الكيماوية هي ايضا اكثر بطئا في هذا المناخ ، وعليه فان كمية الطين اقل مما هي في التربة الحديدية الالومينية . ولا يكتمل الغسل تحت هذه الظروف ، فتترسب المواد الذائبة ، وخصوصا الكالسايت ، في التربة تحت السطحية لان المياه الباطنية تتبخر قبل ان تزيلها . وتسمى مثل هذه التربة تربة كلسية . وتتشكل الكالسايت كمادة بيضاء في التربة تدعى كاليشة (٢٥) ويمكن لهذه ان تتجمع في التربة السطحية وفي التربة تحت السطحية على السواء ، هذا اذا تحركت المياه الباطنية الى الاعلى من خلال الفتحات الشعرية بسبب التبخر على السطح . وقد تنمو التربة الكلسية في المناطق المعشبة والاجام . والتربة التي تتشكل في المناخات المدارية ليست مفهومة جيدا ، وقد يكون من اسباب ذلك قلة المناطق المدروسة جيدا . ان التربة في غابات الامطار

تشبه الى حد ما التربة الحديدية الالومينية . اما تربة المناطق المغطاة بالاشجار والاعشاب (السافانا) فتختلف كثيرا على كل حال . ويبدو ان عملية الغسل هي العملية السائدة بسبب الامطار الموسمية الشديدة . فتغسل التربة من كل شيء ، بما فيها السيليكا ومعادن الطين ، وتحملها المياه الجوفية بعيدا ، عدا الالومنيوم والحديد اللذين يشكلان اكاسيد مائية . ويبدو ان البكتيريا على درجات الحرارة العالية تتلف الدبال ، ومن ثم فان المياه الباطنية لا تكون حامضية ولذا فهي عاجزة عن ازالة الالومنيوم والحديد . وتدعى التربة التي تتشكل على هذا النحو لاترايت (٢٦) . وهذا الاسم هو من اللاتينية ويعني القرميد ، فلونها الاحمر البني يشبه اللون القرميدي . ولا يشكل اللاترايت طبقت مميزة كما يفعل غيره من انواع التربة . وكما هو متوقع فانها تربة فقيرة لا ينمو عليها المحصول ، ونعرف ذلك من المحاولات الكثيرة غير الناجحة لتطوير اراض زراعية جديدة في الاقطار المدارية حديثة الاستقلال ومعظم اللاترايت غني بالحديد ، لكنه في بعض الحالات غني بشكل رئيسي بالالومنيوم . ويسمى مثل هذا الخليط من اكاسيد الالومنيوم المائية بوكسايت (٢٧) وهو خام قيم ، وقد يتشكل البوكسايت من تجوية الصخور الغنية بالالومنيوم التي تحوي قليلا من الحديد كالصخور النارية الغنية بالفلسبار . ويمعدن اللاترايت في بعض المناطق للحصول على خام الحديد ، وفي بضعة اماكن يعدن للحصول على النيكل او المانجنيز ، وفي هذه الحالة نقدر ان الصخور الام كانت غنية بهذه العناصر . وفي المناخات غير العادية القطبية او الصحراوية ، تكون التجوية الكيماوية قليلة جدا ، وتنعدم المادة العضوية تقريبا ، ومن ثم فانه لا يمكن ان تشكل تربة حقيقية .

Lithification

التصخر

ان تحول الرسوبيات الى صخر يدعى تصخرا ، ويدخل في هذا التحول عمليات عديدة . فترسيب المياه الباطنية لمواد ذائبة بين الحبات يسمى السمطة (٢٨) ، وهذا كما يتوقع اكثر فعالية في الصخور المسامية ، الخشنة

الحبات المفروزة بعضها عن بعض . واهم عوامل التسميته هي :
— **الكالساييت** — ويعرف باختبار الحمض (لا تخلط بين فوران الاسمنت «المادة
الرابطة» والفوران الاجمالي للصخر الحامل للكالساييت)
— **السيليكا** — وهي تنتج اقوى الصخور على الغالب .
— **أكاسيد الحديد** — تلون الصخر بالاحمر او الاصفر .

وقد تكون هناك انواع اخرى من المواد الرابطة كالدولومايت مثلاً . وفي
الصخور رديئة الفرز قد يكون الطين مادة رابطة وهو الذي يلون الصخر عادة
بلون رمادي أو رمادي أخضر . والرص (٢٩) عامل تصخر فعال في الصخور
ناعمة الحبات مثل الفصاير (٣٠) وحجر الغرين (٣١) . وينشأ الرص عادة عندما
تدفن الصخور تحت أعماق كبيرة ، وقد يصل النقصان في حجمها بسبب رصها
وعصرها ، وطردها الماء منها الى ٥٠٪ في بعض الفصاريات . وقد تكون عملية
اعادة التبلور مهمة في انتاج الصوان وفي تحويل الطين الحامل للكالساييت الى
حجر جبري . وتنتج عملية اعادة التبلور بنية متشابكة (٣٢) .

التصنيف والتشكل

Classification and formation

ان تفسير تشكل هذه الصخور اكثر اهمية من مجرد تسميتها . كما هو
الحال في الصخور النارية . وان معرفة اصل المواد التي تكون الصخر الرسوبي
وفهم منشأ مظاهره الرسوبية تمكن من مثل هذا التفسير .
ويمكن تصنيف الصخور الرسوبية حسب طريقة تشكلها الى بحريّة ،
وبحرية (ترسبات البحيرات) وجليدية ، وريحية (ترسبات الرياح) .
نهرية (٣٣) (ترسبات النهر) ... الخ . ويمكن ان تصنف ايضا على اساس
تركيبها مثل حجر جبري وصوان ، وحجر رملي كوارتزي ... الخ ، او حسب
طريقة نشأتها مثل حطاميات (٣٤) ورسوبيات كيمائية ، او عضوية .

29. Compaction

30. Shale

31. Siltstone

32. Interlocking

33. Fluvial

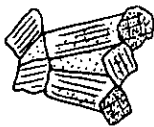
34. Clastic

وفي الواقع فان هذه التصنيفات تخرج لتنتج تصنيفا عمليا كما يلي :

Clastic Rocks

الصخور الحطامية *

تتكون من حطام الصخر أو حبات معادن مكسرة من أي نوع من الصخور الموجودة سابقا (الشكل (٤ - ١٠)) . وتقسم هذه الصخور حسب حجم الحبات . وبشكل عام ، فان الحجوم تتداخل وتختلط ، مما يتطلب اسماء انتقالية من مثل حجر غريني رملي (٢٥) . وتتميز ببنيتها الحطامية . وتنشأ الحبات من التجوية الميكانيكية ، وسنبحث في الجزء الثاني عوامل الحت والنقل والترسيب التي تجمع هذه الحبات بعضها ببعض ، حيث تشكل صخورا رسوبية حطامية . ولا يستعمل التركيب في تصنيف الصخور الحطامية لانه يمكن أن يتأثر بعدة عوامل لا يمكن تقييمها بشكل مرضي من مجرد دراسة الصخر . والامثلة على ذلك تكاد لا تنتهي ، لكن بضعة أمثلة بسيطة ستوضح الامر . فالحجر الرملي الكوارتزي يمكن أن ينتج ، اذا كانت منطقة مصدره تتكون بشكل رئيسي من الكوارتز (ربما من حجر رملي كوارتزي قديم) أو قد يكون نتيجة عملية تجوية طويلة ، تركت حبات الكوارتز وحدها . واذا وجدت حبات الفلسبار الكبيرة في الحجر الرملي فذلك يعني ترسيبا سريعا ودفنا قبل أن تحلل التجوية الكيماوية الفلسبار . أو قد تعلي مناخا باردا حيث التجوية الكيماوية بطيئة جدا .



نسيج متداخل . ويتطور هذا النسيج في الرسوبيات الكيماوية مثل حجر الجير والصخور النارية والمتحولة .



نسيج حطامي
لاحظ الفراغات

الشكل (٤ - ١٠) :
ان التعرف على البنية
أمر هام جدا في معرفة
هوية الصخور وتفسيرها

* وهي التي سميت في فصل سابق fragmental ، وتسمى ايضا detrital (المترجم) .

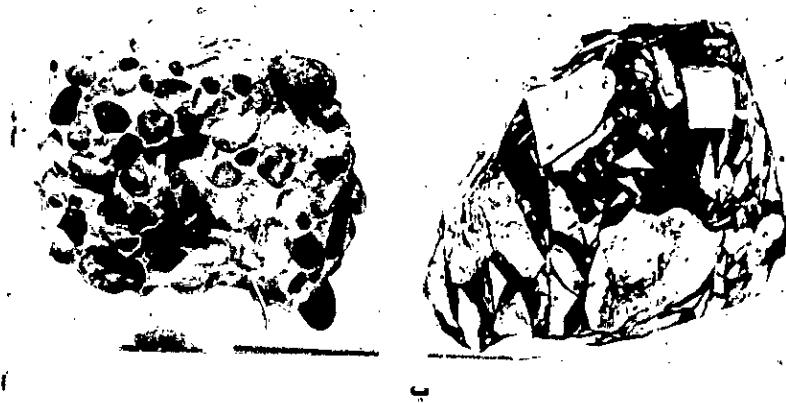
الحجم	الرسوبيات	الصخور
أكبر من ٢ ملم	جصى Gravel	خليط Conglomerate — الصخور أرضية رملية في العادة . تقسم الى خليط ذي حجارة مستديرة وخليط ذي حجارة حاددة (برشيا breccia) حسب شكل الحبات . (الشكل (٤ — ١١)) .
$\frac{1}{16}$ — ٢ ملم	رمل Sand	حجر رملي — ويتميز بملسه الحبيبي (الشكل (٤ — ١٢) والشكل (٤ — ١٣) يصنف عادة الى خشن ، ومتوسط وناعم إذا كان جيد الفرز . ولقد صنفنا أيضا على أساس تركيبها . والأنواع الأكثر أهمية هي : — حجر رملي كوارتزي ، أكثره — من الكوارتز — حجر رملي أركوزي أكثر من ٢٠٪ فلسبار . — الجروك Graywacke رديئة الفرز ولها أرضية طينية أو كلوريتية . صخور طينية (حجر طيني) — قد يلزم اختباره على الأسنان ، للكشف عن الصفة الحبيبية فيه grittiness . ومن ثم يميز عن الفضار غضار shale — يتميز عن الصخور الطينية السابقة بعدم وجود الخاصية الحبيبية فيه ، وبوجود خاصية التشطّر fissility وهي قابلية الصخر
$\frac{1}{16}$ — $\frac{1}{256}$ ملم	غرين Silt	
أقل من $\frac{1}{256}$	طين وصلصال Clay	

الحجم	الرسوبيات	الصخور
اقل من ٢٥٦ ملم	طين وصلصال	للانقسام سهولة كبيرة على سطوح الارضية . أما الصخور المؤلفة من الصلصال والتي تنقصها صفة التشطّر فتدعى حجر الصلصال او حجر الطين <i>claystone</i>

ان تشكل الفضار في الحقيقة أكثر تعقيدا الى حد ما مما اشر اليه اعلاه . ويتكون كثير من الصلصال الذي يعطي الفضار خاصية التشطّر ، بعد الترسيب . ولقد دل على هذا عدم وجود الفضار الحديث جيولوجيا . ان الصخور الحطامية الحديثة الناعمة الحبات هي في الغالب صخور طينية .

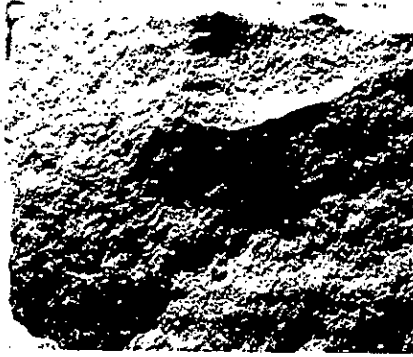
الصخور غير الحطامية

تتشكل بالترسيب الكيماوي او البيولوجي وبتراكم المواد العضوية . وتستخرج هذه العمليات مواد معينة مما يحيط بها (مياه البحر عادة) وترسب هذه المواد مشكلة الصخور . وتصنف هذه الصخور على الاغلب على اساس تركيبها . وكما هي الحالة في الصخور الحطامية ، فان هذه الصخور تختلط فيما بينها وتختلط مع الصخور الحطامية .



ب

الشكل (٤ - ١١) كونهيميرات . ا - حصى مسنديرة في ارضية من الحجر الرملي . ب - كونهيميرات ذات حجارة عادية (بريشيا) . ويحتمل ان تكون الحصى الحادة في هذا الصخر ان تنتقل معها بالمقارنة مع الحصى في الشكل ا - (الصورة من Ward's) .



الشكل (٤ - ١٢) : الحجر الرملي : ان التطبيق أسمك مما يمكن أن تراه هذه العينة .
(الصورة من Ward's) .



الشكل (٤ - ١٣) : انكشاف صخر الحجر الرملي . الصورة من
مكتب السياحة في مكسيكو الجديدة .

الجدول (٤ - ٢) : منشأ أهم أنواع الصخور الرسوبية غير الحطامية

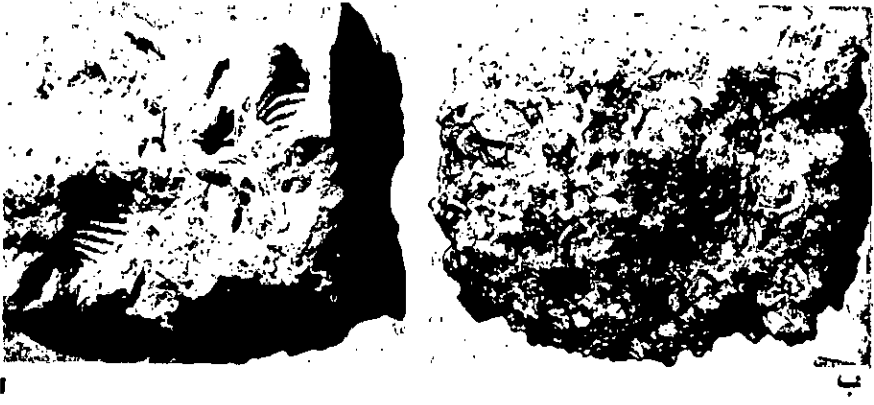
ملاحظات	كيمائي		بيولوجي	
	أخرى	تبخرات		
يتشكل على الاغلب بالاستبدال .	x	x نادر *	x	عجرجيري
		x نادر		دولومايت
يتبلور معظم الصوان البيولوجي من الادبال .	x		x	صوان
	تترسب من السيليكا البركانية	x		جبص
		x		ملح صخري
			x	طباشير
			x	ديانومايت
			x	فحم

Limestone

الحجر الجيري

يتكون من الكالسايت . ويتعرف عليه من فورانه بحمض الهيدروكلوريك المخفف . وهو عادة من أصل بيولوجي ، ويمكن أن يحوي مستحاثات (الشكل (٤-١١٤) . ويسمى الصخر الذي يتكون كلية من المستحاثات أو حطام المستحاثات كوكينا^(٣٦) (الشكل (٤ - ١٤ ب)) .

وقد يتشكل الحجر الجيري بطرق كثيرة كما هو موضح في الجدول (٤ - ٢) . ويحتمل أن يكون معظم الحجر الجيري قد نشأ من الكائنات الحية التي تزيل كربونات الكالسيوم من ماء البحر . وقد تتراكم بقايا هذه المعادن لتشكل الحجر الجيري مباشرة ، أو قد تتحطم ويعساد ترسيبها . وقد



الشكل (٤ - ١٤) : حجر الجير . أ - حجر جير مستحاثي . حجر ابيض ناعم
الحيات يحوي كمية كبيرة من حطام المستحاثات . ب - كوكينا ، نوع من حجارة الجير يتألف
كلية تقريبا من حطام المستحاثات (الصورة من Ward's) .

يترسب الكالسايت كيميائيا . وتحدد كمية ثاني اكسيد الكربون الموجودة في مياه
البحر كمية الكالسايت التي يمكن أن تبقى ذائبة . فإذا انقصت كمية ثاني اكسيد
الكربون بتسخين الماء — كما قد يحدث في المياه المدارية الضحلة — فيمكن
للكالسايت أن يترسب . وتزيل النباتات البحرية أيضا ثاني اكسيد الكربون من
مياه البحر وتساعد في ترسيب الكالسايت . والبكتيريا قد تساعد أيضا في ترسيب
الكالسايت بجعل المياه أكثر قاعدية (٢٧) وتزيد المواد العضوية المتعفنة كمية
ثاني اكسيد الكربون ومن ثم تؤخر عملية ترسيب الكالسايت . ويتشكل الحجر
الجيري الآن بالترسيب الكيميائي وذلك على شواطئ البهاما الضحلة (٢٨)
حيث تتوافر العوامل التي ذكرت أعلاه .

الدولومايت

Dolostone (dolomite)

يتكون من معدن الدولومايت . ويتميز بأنه يفور بحمض الهيدروكلوريك
المخفف بعد خدشه (لانتاج مسحوق) ، وتتفاعل أيضا (بدون خدش) مع
حمض الهيدروكلوريك المركز أو الساخن . ويتشكل الدولومايت في الغالب
باستبدال الكالسايت مباشرة بعد الدفن على ما يبدو . ويمكن للنقص في الحجم
الذي يصاحب عملية الاستبدال أن تنتج فراغات غير منظمة أو مستحاثات
مشوهة .

الصوان

Chert

يتكون من الكالسيدوني (٢٩) ويميز بالطريقة التي بحثت في الفصل الثاني . ان تسمية رسوبيات السيليكا الكالسيدونية بالصوان كان خطأ لم يعد يمكن تصحيحه . ولقد استعمل هذان الاسمان قبل اختراع المجهر والاشعة السينية استنادا الى فروق طفيفة من مثل اللون والبريق وهذه لم يعد يمكن الاعتماد عليها في الطرق الحديثة . ان كلا من الصوان والكالسيدوني قد يحويان الاوبال والكواريز ناعم الحبات . ولقد اطلقت عشرات الاسماء على السيليكا الكالسيدونية ، وقد يكون بعض هذه الاسماء جيدا مثل : البقيق (٤٠) للأنسواع المخططة وال flint * للصوان الرمادي القاتم او الاسود .

وينشأ الصوان بعدة طرق . فبعضه يترسب مباشرة من ماء البحر ، في المناطق التي تطلق فيها البراكين كميات زائدة من السيليكا . ومعظم الصوان يأتي من تراكم القواقع السيليسية للكائنات الحية . فتأخذ هذه الكائنات السيليكا الذائبة في ماء البحر لتبني اصدانها وهياكلها السيليسية من الدياتومات (٤١) والرايولاريا (٤٢) واشواك الاسفنج وتتكون من الاوبال . يتبلور الاوبال بسهولة فيكون الصوان . وهكذا فان كثيرا من الصوان يتبلور من جديد ، مما يجعل من الصعب التعرف على مصدره . وفي عملية التبلور هذه قد تحل السيليكا محل مواد اخرى وكثيرا ما يحل محل المستحاثات فاذا حدث ذلك في الحجر الجيري ، فانه يحتفظ بمستحاثات ذات ملامح دقيقة كاملة وهذه يمكن استعادتها باذابة الحجر الجيري بالحمض . وقد يشكل الصوان طبقات او عقدا (٤٣) .

الجبس

Gypsum

تتشكل من تبخر مياه البحر . وتدعى الصخور التي تتشكل بهذه الطريقة

* (لا فرق بين chert و flint . والاخير هو الاقدم لكن الاول اكثر استعمالا وانتشارا . وهما يستعملان بنفس المعنى (المترجم) .

39. Chalcedony

40. Agate

41. Diatoms

42. Radio Laria

43. Nodules

التبخريات (٤٤) وستبحث فيما يلي : ولقد بحثت طريقة التعرف على الجبس

في الفصل الثاني .

Rock salt

الملح الصخري

يتكون من معدن الهالايت (٤٥) . ويتميز بتشققه المكعب وبطعمه (انظر

الفصل الثاني) . و يترسب عندما تتبخر اجزاء محصورة من ماء البحر .

Chalk

الطباشير

هو حجر جيرى ابيض طري يتشكل من تراكم قواقع كائنات مجهرية . وتتألف

القواقع من كربونات الكالسيوم ، وتتميز الطباشير بفورانها مع الحمض .

Diatomite

دياتومايت

صخر طري ابيض يتكون من بقايا نباتات مجهرية وتتميز عن الطباشير بأنها

لا تفور مع الحمض لان هذه البقايا تتكون من مادة السيليكا .

Coal

الفحم

ويتكون من تراكم المواد النباتية .

الجدول (٤ - ٣) . تركيب ماء البحر

العناصر	النسبة المئوية	المنشأ	الصخر المتكون
كلور	٠.١٩	البراكين	الملح الصخري (هالايت)
صوديوم	٠.١١	التجوية الكيماوية	
مغنيسيوم	٠.٠١	التجوية الكيماوية	دولومايت
كبريت	٠.٠٠٩	البراكين	جبص
كالسيوم	٠.٠٠٤	التجوية الكيماوية	حجر جيرى (كالسايت)
بوتاسيوم	٠.٠٠٤	التجوية الكيماوية	املاح البوتاسيوم

وتتشكل رسوبيات التبخر بتبخر مياه البحر . والصخور الرئيسية المشكلة

بهذه الطريقة هي الجبس والملح الصخري . فعندما يتبخر ماء البحر على حرارة

السطح من احواض محصورة فان المعدن الاول الذي يترسب هو الكالسايت . ثم يترسب الدولومايت ثانيا ، غير أن كميات قليلة جدا من الكالسايت والدولومايت تتشكل بهذه الطريقة . ان تبخر عمود طوله ٧ ميل من مياه البحر لا ينتج الا بوصة واحدة او اثنتين فقط من الحجر الجيري والدولومايت . و يترسب الجبس بعد تبخر ثلثي الماء تقريبا ، بينما يترسب الهالايت بعد ازالة تسعة اعشار الماء . وتتشكل املاح البوتاسيوم والمغنيسيوم في المراحل الاخيرة للترسيب . ووجود طبقات سميكة من الملح الصخري يعني تبخر كميات كبيرة من مياه البحر . وسيبحث هذا في الفصل السادس .

ان الصخور التي سبق وصفها اعلاه هي أكثر الصخور شيوعا ، لكنها ليست بأي حال من الاحوال الصخور الرسوبية الوحيدة .

فان اي خليط من أنواع الصخور ممكن ، وبما أن اي ناتج للتجوية يمكن أن يشكل صخرا رسوبيا ، فان انواعا (من الصخور) لا نهاية لها قد تتشكل ايضا . وبعض الانواع النادرة يضم رسوبيات هامة اقتصاديا ، مما سنصفه في الفصل السادس ، وذلك مثل اكاسيد الحديد ، وصخور الفوسفات والبوكسايت (خام الومنيوم) والبوتاس .

ويشكل الفضار والحجر الرملي والحجر الجيري حوالي ٩٩٪ من جميع الصخور الرسوبية . وبما أن الفلسبار هو أكثر المعادن وجودا ، فان ناتج تجويتها الرئيسي وهو الفضار يعتبر أكثر الصخور الرسوبية وجودا . ويأتي بعده الحجر الرملي ويأتي الحجر الجيري أخيرا .

ان كمية الفضار الموجودة هي أقل الى حد ما من الكمية التي يمكن التنبؤ بها من المعادن السيليكاتية المكونة للطين ، مما يوحي بأن بعض الصلصال يترسب في قيعان المحيط العميقة . ان حبات الصلصال صغيرة جدا وترسب ببطء ، ويمكن أن تحملها الاف الاميال تيارات لطيفة .

ملامح الصخور الرسوبية

Features of sedimentary rocks

ان اهم ما يلاحظ عندما تنكشف صخور رسوبية هو طبقيتها (١٠) ، التي تسجل الطبقات حسب اتخاذها لمواضعها ، فيكون الاقدم في القاع . وقد تكون

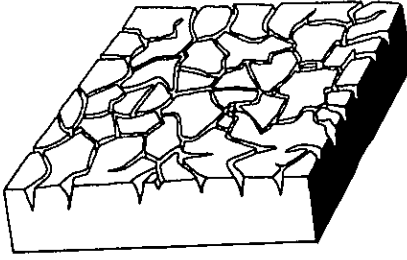
الطبقات سميكة جدا ، فلا ترى في انكشاف صغير ، ولئلا هذا السبب ، لا تكفي العينات اليدوية لظهار طبقية واضحة .

ولدراسة نوع المستحاثات وملامح الصخور الرسوبية قد تخبر بالكثير عن بيئة الترسيب ، وفي بعض الحالات عن تاريخ ما بعد الترسيب . وتشقق الطين على سطوح الطبقات تنبئ عن دورات الجفاف وتتم عن مياه ضحلة أو ربما جفاف موسمي (الشكل ٤ - ١٥) .

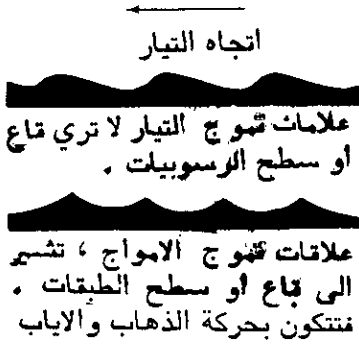
وتدل التموجات أيضا على مياه ضحلة مع تيارات مائية ، لكنها قد تتشكل أيضا في المياه العميقة . والدراسة التفصيلية للتموجات يمكن أن تبين نوع التيار واتجاهه (الشكلان ٤ - ١٦) و (٤ - ١٧) . وقد يسبب التيار حفرا أو جرفا ، يتلوه ملء للفراغ الناتج (الشكل ٤ - ١٨) ، وقد يحدث التيار طبقات متقاطعة (الشكلان ٤ - ٩) و (٤ - ٢٠) . ويمكن الاستدلال بهذه الظواهر في التعرف على الطبقات التي قلبت بالطي أو التصدع وقد يرتب التيار حبات المعادن والمستحاثات في صفوف . ومن ثم ينتج في الصخور تراكيب داخلية خطية تستعمل في تحديد اتجاه التيار . ويرى (الشكل ٤ - ٢١) مثالا لاعادة بناء حوض رسوبي حسب تفسير ملامح نجدها في اجزاء متفرقة منه .

إذا اتخذ مزيج من الرسوبيات موضعه فجأة في حوض رسوبي ، فان الحبات الكبيرة ترسب أسرع من الحبات الصغيرة . وهذا لا يتعارض مع تجربة جاليليو المشهورة ، لاننا معنيون هنا بالاجسام الساقطة في وسط لزج ، حيث تحدد سرعة الجسم الساقط حسب حجمه . ويسمى التطبيق الذي ينتج بهذا النوع من الترسيب بالتطبيق المتدرج^(٢٧) (الشكل ٤ - ٢٢) ، ويمكن أن نرى ذلك تجريبيا بأن نضع رسوبيات من احجام متنوعة في اناء ماء ، فنهزها ثم نترك محتوياتها حتى ترسب . وتتشكل طبقات ذات التطبيق المتدرج بطرق كثيرة ، كالتدفق المفاجيء للرسوبيات الناجم عن عاصفة أو التدفق الموسمي للانهار .

وتتميز الصخور الرسوبية اشياء اخرى منها مظاهر بنيتها فمساميتها^(٢٨) مقياس لما تحويه من فراغ ونفاذيتها^(٢٩) مقياس للاتصالات الداخلية بين فراغاتها . وهذه الصفات ذات اهمية كبيرة اذا كان المرء معنيا



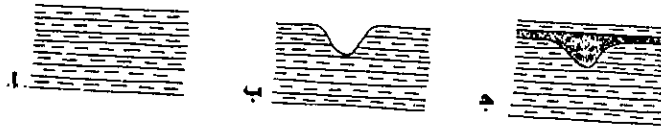
الشكل (٤ - ١٥) : شقوق الطين ،
والتي تنشأ بسبب جفاف مصاطب الطين
Mud cracks ويمكن أن تستعمل في
التعرف على أسفل الطبقة من أعلاها .



الشكل (٤ - ١٦) : تنشأ علامات
الينم حيث تؤثر التيارات على الرسوبيات .
وتتشكل هذه العلاقات متعامدة مع اتجاه التيار .
ان العلامات غير المتناظرة توضع في أي اتجاه
سار التيار . وحتى تعرف لماذا تستعمل علامات
الامواج في التعرف على أعلى الطبقة من
اسفلها ، اقلب الصفحة راسا على عقب .



الشكل (٤ - ١٧) : علامات تهبج غير متناظرة . لاحظ وجود هذه العلامات في طبقات حلقات
متناوبة . (الصورة من D. F. Demarest ، المساحة الجيولوجية الأمريكية) .



الشكل (٤ - ١٨) : Scouring ناتج عن تيارات مدحية
 أ - الترسيب الأولي . ب - قناة تشكل بواسطة التيار . ج - عاد
 الترسيب من جديد فملا القناة . يشير مثل هذا المظهر الى انقطاع نسي
 الترسيب ويمكن أن يستعمل لتمييز أعلى الطبقة من أسفلها .

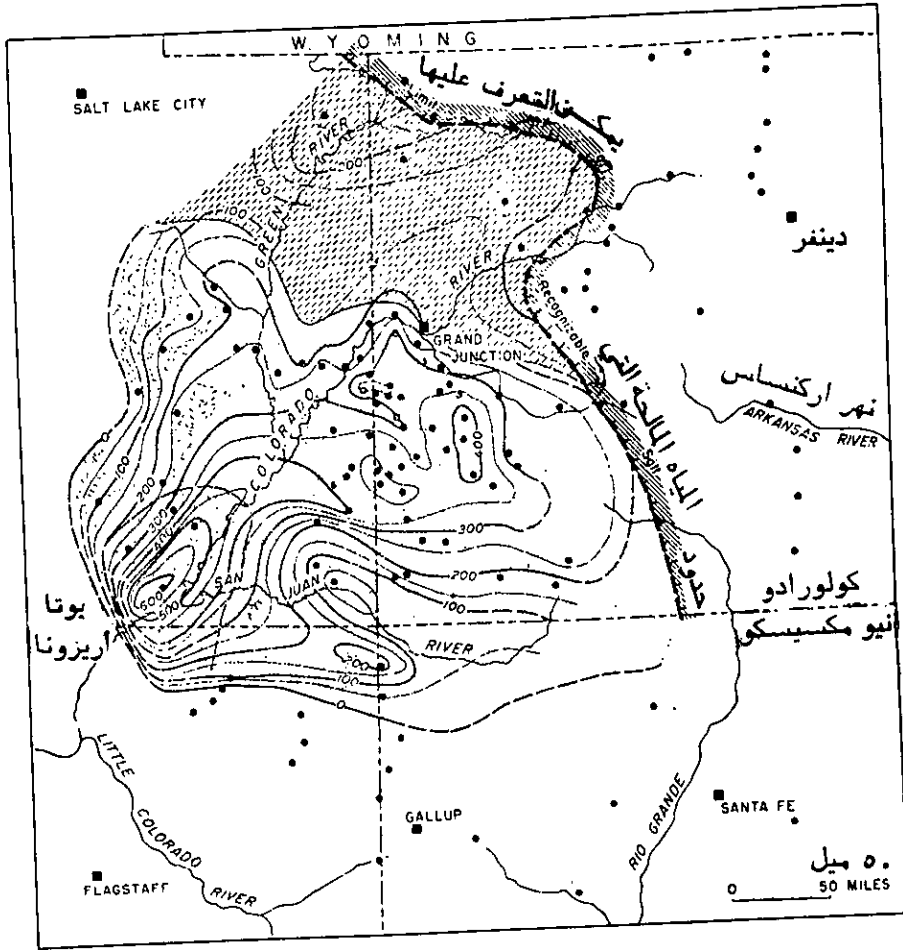


الشكل (٤ - ١٩) : تطور التطبيق المقاطع . أ - الترسيب
 الأولي . ب - قناة قطعت في الرسوبيات بواسطة التيار ج - امتلأت
 القناة برسوبيات من جانب واحد . د - ترسيب عادي بعد أن امتلأت
 القناة . ويمكن أن يستعمل التطبيق المقاطع لتمييز أعلى الطبقة من
 أسفلها .



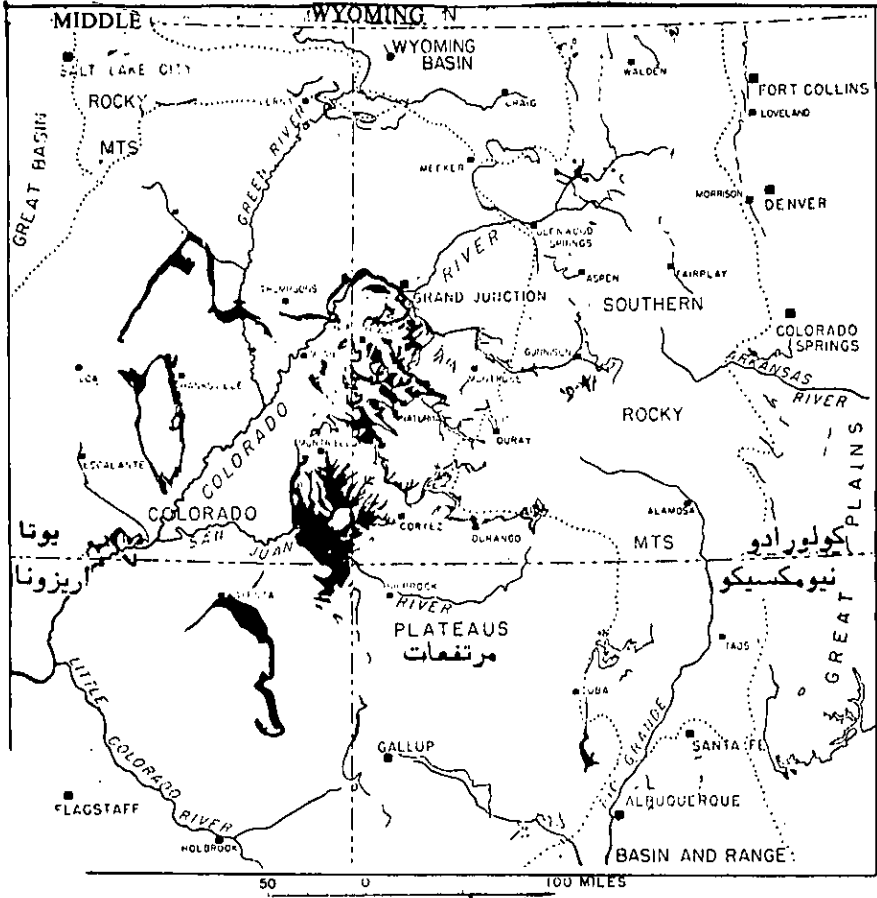
ب

الشكل (٤ - ٢٠) : تطبيق مقاطع . أ - في رسوبيات نهريه رمليه خشنة . الصورة
 من H. E. Malde المساحة الجيولوجية الامريكية ، ب - في رسوبيات هجارة الرمل
 الريحية Zion National Park (الصورة من H. E. Gregory المساحة
 الجيولوجية الامريكية) .



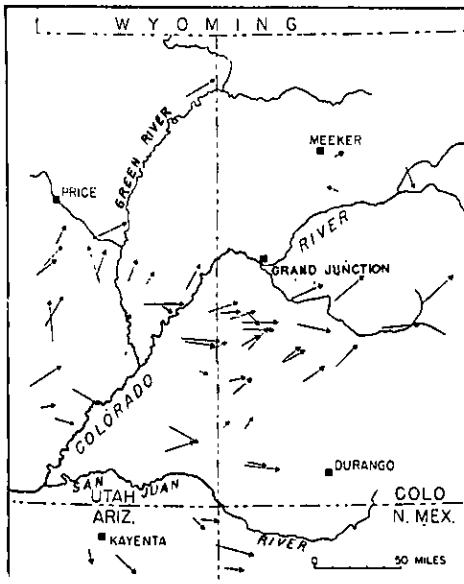
ايضاحات

	
كونجلوميرات وحجر رملي	صخر رملي وطنيني
	
حجر طيني وحجر رملي عدسي الشكل	حجر طيني وجيري
- مكان المقطع المقاس
المسافة ٥٠ قدم
المسافة ٥٠ قدم



توضيحات

حدود الأقليم الفيزيوجرافية انكشافات تكوين موريسون



الشكل (٤ - ٢١) : التعرف على حوض رسوبي قديم ، من تفسير المظاهر في انكشافات متعددة .

(١) خريطة الانكشافات في

تكوين موريسون .

(ب) لتجاه التيار مستفجع من

Salt Wash Member في التطبيق المقاطع

تكوين موريسون . وتري الاسهم اتجاه

المتحدر القديم مستخرجا من التطبيق

المقاطع . ويعبر طول السهم عن

الاستمرارية .

(ج) سماكة ونوع الرسوبيات في

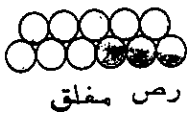
Salt Wash Member . لاحظ ان

الرسوبيات الاغثن اقرب إلى المصدر

مستخرجا من السماكة والتطبيق ب

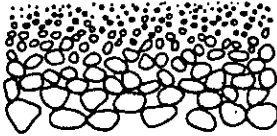
المقاطع .

باستخراج الزيت أو الماء الباطني من خزان في جوف الأرض (٥٠) ان كمية الفراغ المسامي في الصخور الرسوبية تتنوع وكنها اكبر مما يظن لاول وهلة . فلماذا اعتبرنا رص (٥١) كرات متماثلة (معظم حبات الرمل كروية) فاننا نجد ان اشد رص ممكن يحوي ٢٦٪ من الفراغ ، أما اخف رص فانه يحوي ٤٨٪ (الشكل (٤ - ٢٣)) . وتختلف النفاذية تبعا لكمية الفراغ المسامي ، والفـسـرـز ، والسمنتة (٥٢) . وحجم الحبات . فالفضار قد يكون له مسامية أكثر من ٣٠٪ ، غير ان التوتر السطحي (٥٣) للماء يمنع الانسياب من خلال الفتحات الصغيرة .



الشكل (٤ - ٢١) : نطبق متدرج ،

نتائج عن ترسيب الحبات الأكثر خشونة بسرعة أكبر من الناعمة .



الشكل (٤ - ٢٢) : تناثر المسامية

بالتراص packing ، كما هو متضح هنا من الحالة المثالية للكرات .

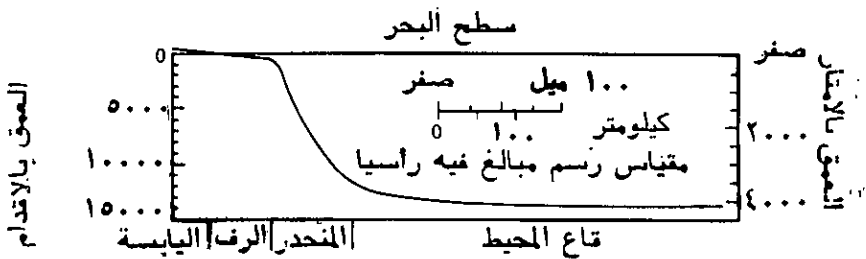
الترسيب

Deposition

تترسب معظم الصخور الرسوبية في المحيطات ، ولقد سجل كثير من تاريخ الأرض بواسطة هذه الصخور البحرية التي تؤرخ بسهولة بسبب احتوائها على المستحاثات . ويشكل تأريخ وتفسير مثل هذه الصخور الجزء الرابع من هذا الكتاب ، حيث تجد أمثلة كثيرة . وسنعتبر في هذا القسم أمثلة هامة قليلة للبيئات

البحرية . أما الاهمية الجيولوجية لاماكن الترسيب هذه فتدرس في فصول لاحقة .
ان احدى الملاحظات المفيدة عن الصخور الرسوبية البحرية هي ان وحدة رسوبية واحدة (كالحجر الرملي مثلا) يمكن في اماكن كثيرة ان تتبع لمئات الاميال .
وفي اماكن اخرى ، نجد الطبقات غير منتظمة ولها امتداد افقي محدود .
وحتى نفهم كيف تأتى ذلك لا بد من اعتبار كيفية تشكل الصخور الرسوبية البحرية . وسوف نحصر البحث في الصخور الحطامية ، صخور الحجر الرملي والفشار وذلك من اجل التبسيط . وكما سنرى ، فان اصل الحبات التي يكون هذه الصخور هو الحت . وترسل هذه الحبات الى المحيط بواسطة الانهار .
تشكل معظم الصخور الرسوبية بالقرب من القارات ، لان معظم الرسوبيات البحرية تتألف من مواد جلبتها الانهار . ولقد ثبتت صحة ذلك من العينات وعمليات الحفر المحدودة التي اجريت في المحيطات . فاذا اردنا ان نفسر التراكمات السميكة من الصخور الرسوبية القديمة التي تظهر في سلاسل الجبال الحالية ، يلزم ان ندرس الرفوف القارية (٥٤) والمنحدرات القارية (٥٥) وهو المنحدر الانتقالي بين الرف وبين اعماق المحيط) . ولقد وصف تركيب هاتين المنطقتين في الفصل السادس عشر (الشكل (٤ - ٢٤) . ويمتد المنحدر القاري في المعدل الى عمق ميلين او اكثر وبميل درجتين الى ست درجات ، وهو منحدر شديد جدا اذا قورن بسلاسل الجبال على الارض .

والرف القاري جزء من القارة ، ولقد حدد اتساعه بدراسات اهتزازية

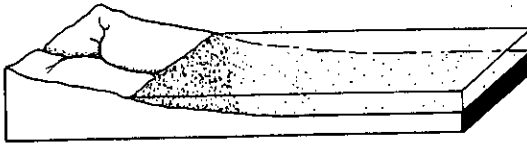


الشكل (٤ - ٢٤) : حدود قارية تري بوضوح الرف القاري ، المنحدر القاري ورميف الاعماق .

لتراكيب القشرة . وفي الغالب ، فإن خط عمق ١٠٠ قامة (٥٦) (٦٠٠ قدم) هو على كل حال قريب جدا من حافة الرف القاري . ان الرف القاري مبسسط تقريبا ، ومعدل ميله حوالي ١٠ اقدام لكل ميل . وغالبا ما يبدأ التحول في الميل بين الرف والمنحدر القاري بين ٤٠٠ الى ٥٠٠ قدم ، الا انه يتراوح من سطح البحر الى عمق ١٥٠٠ قدم . ومعدل عمق الرفوف هو حوالي ٢٠٠ قدم .

الرسوبيات الحطامية

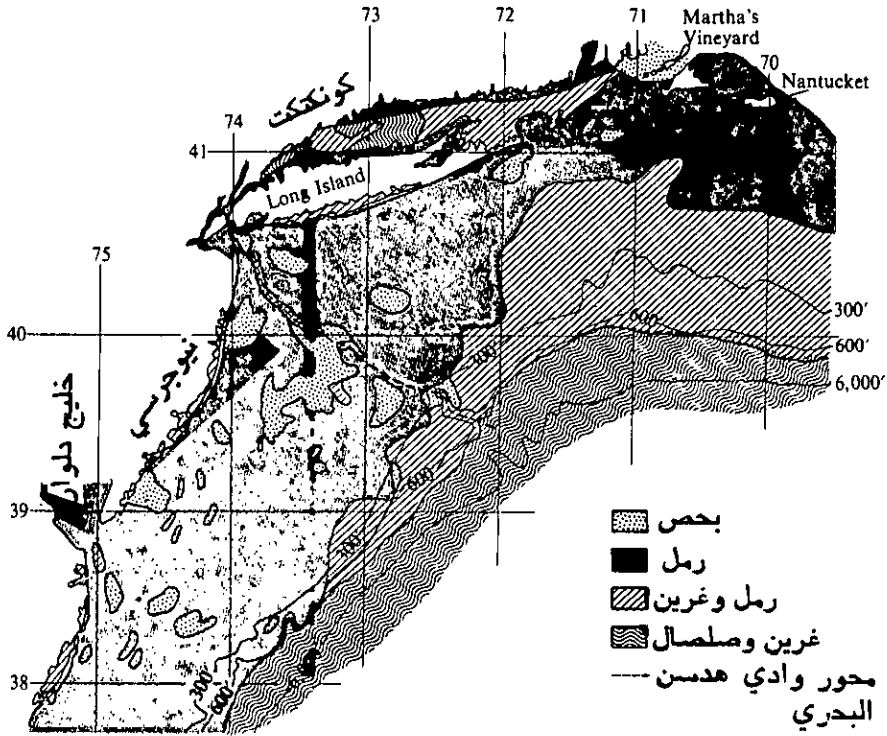
تغطي معظم اجزاء الرفوف القارية . ويتوقع المرء على وجه العموم ، ان توجد المواد الاخشن بالقرب من الشاطئ او مصبات الانهار ، وأن يوجد الغرين الناعم والصلصال بعيدا عن المصدر (الشكل ٤ - ٢٥) . ويحتمل أن يكون هذا صحيحا بشكل عام جداً ، غير أن الشواذ الكثيرة (على هذه القاعدة) تدل على أن الوضع ليس بسيطا (الشكل ٤ - ٢٦) . ان لحد الاسباب الواضحة جدا هو ان سطح المحيط كان في الزمن الجليدي الحديث ادنى من ارتفاع سطحه



الشكل (٤ - ٢٥) :
مخطط مثالي يري كيف
ترسب المادة الخشنة
بالقرب من الشاطئ
والمادة الناعمة البعيدة
الداخل .

الحالي . لان مياه كثيرة قد تحولت الى جليد . ويظهر ، ان تيارات المد والجزر وتيارات اخرى كان لها ايضا اثر جيد في تحريك وغرز المواد الحطامية على الرفوف الضحلة نسبيا ، كما سيوضح في الفصل الحادي عشر . ويحتمل أن يكون هذا النوع من اعادة تحريك الرسوبيات هو سبب امتداد الوحدات المنتظمة على مناطق واسعة ، كالتي توجد على القارات الحالية . وعلى اي حال فإن الحصى وخلطة الرسوبيات الصخرية ليست نادرة على طول الرف .

ونجد تحت السهول الساحلية الحالية للمحيط الاطلسي وشواطئ خليج المكسيك ما يمكن أن يكون رسوبيات رف قاري . ولقد اظهر الرف الاجزاء القريبة من اليابسة من تلك التراكبات الرسوبية ، ودلت الدراسات الاهتزازية والحفر العميق انها تمتد وتزداد سمكا على طول الرف القاري الحالي . وتبلغ سماكة



الشكل (٤ - ٢٦) : رسوبيات قاع البحر على جزء من الرف القاري في شمال غرب الولايات المتحدة . ان الابتعادات الكثيرة عن الحالات المثالية التي يريها الشكل (٤ - ٢٥) . يمكن أن يكون سببها تيارات قاع البحر والترسيب عندما كان سطح ماء البحر قد انخفض في العصور الجليدية .

هذه الرسوبيات على شواطئ الخليج عدة أميال ، تشير مظاهرها ومستحاثاتها الى أنها ترسبت في مياه ضحلة . وهذا ينم عن عملية هبوط بطيئة ، وما يعرف عن المنحدرات القارية اقل من ذلك بكثير . وسوف نبحث هذه بالتفصيل في الفصل السادس عشر . ولقد اوضحست دراسة عينات محدودة ان السطح ، على الاقل ، مغطى بشكل رئيسي بمواد ناعمة ، يبدو انها جرفت من الرفوف . الا ان عمليات الانزلاقات الارضية (٥٧) أو

الانزلاقات الطينية (٥٨) أكثر أهمية في بناء المنحدرات . بعد حدوث زلزلة قد تنقطع خطوط التلفون تحت الماء . وهي لا تنقطع كلها عند حدوث الزلزلة ولكن بعد حدوثها في أوقات لاحقة في اتجاه قاع المنحدر . وفي بعض الحالات تكسرت كابلات وعرف وقت انكسارها بدقة . فإذا أضفنا الى ذلك ، ردم كابلات انبأت السفن عن اصلاحها ، فان ذلك يشير بشدة الى أن انزلاقات بحرية تحدث على طول المنحدر القاري متجهة الى اسفل .

ومن المظاهر الأخرى للرموف والمنحدرات القارية الاخاديد تحت البحرية (٥٩) ولبعض هذه الوديان البحرية مظاهر اخاديد الانهار ، وبعضها اكبر من الاخاديد النهرية ، مثل الاخادود الكبير (٦٠) . ولقد أصبح منشأ مثل هذه المظاهر موضوعا باعنا على التأمل والتفسيرات المتوافرة لذلك ما تزال غير مقنعة . ولقد ظن في البداية انها تشكلت نتيجة حت الانهار العادية في زمن كان سطح البحر فيه أدنى مما هو عليه الآن . وتوجد رؤوس كثير من الاخاديد تحت البحرية بالقرب من مصبات انهار كبيرة ، مما يجعل هذه الفرضية معقولة . وعلى كل حال ، فان الكثير منها يمتد الى اعماق تزيد على المليون ، ويبدو مستحيلا أن تكون هناك تغيرات في سطح البحر بهذا المقدار . ان الانزلاقات الارضية التي ذكرت اعلاه تقدم التفسير الأكثر احتمالا . وتتألف مثل هذه الانزلاقات من مياه محملة بالرسوبيات . ولانها اقل من الماء المحيط بها ، فان هذه الانزلاقات الارضية أو التدفقات الطينية (٦١) تتحرك على طول القاع وهي قادرة على حست مادة هذا القاع الطري . وتدعى هذه المياه الطينية تيارات العكر (٦٢) . ويمكنها أن تتحرك الى اسفل منحدرات طفيفة الميل وان تنقل حصى كبيرة فملا . ان الانزلاقات الارضية للمادة غير المتصلبة على المنحدر القاري يمكن أن تفسر وجود الاخاديد هناك ، أما الاخاديد الموجودة على الرموف القارية فانه يمكن تفسيرها بتيارات العكر التي تنشأ عن تدفق الانهار والعواصف والتيارات الأخرى . وكما تفسر هذه العمليات وجود الاخاديد فانها يمكن أيضا أن تفسر بناء المنحدر القاري، لأن الدراسات الاهتزازية اوضحت أن المنحدر مكون من صخور رسوبية .

58. Mudslide

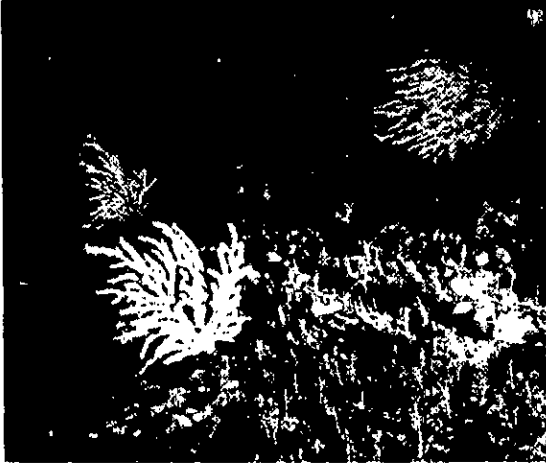
61. Mud Flows

59. Submarine Canyons

62. Turbidity Currents

60. Grand Canyon

ويوضح الشكل (٤ — ٢٧) بعض مظاهر رسوبيات أعماق المحيط .
ويمكن لتيارات العكر والانزلاقات الأرضية أن تفسر تشكل قيعان المحيط



ب



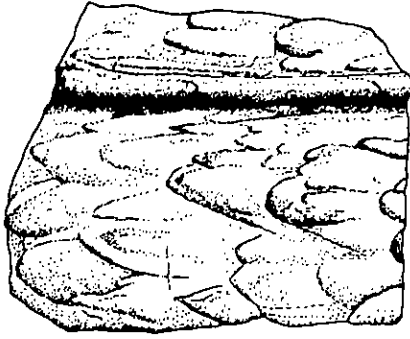
الشكل (٤ — ٢٧) : صورة لقاع المحيط . ١ — Hydrographer Canyon

الى الشرق من الشاطئ الشرقي للولايات المتحدة . مرجانيات طرية وكائنات قاعية اخرى على
عمق ٢٤٠٠ قدم . ب — نفس المنهقة توي نجوم بحرية هشة وكائنات اخرى . ج — قاع بحر
عميق في الحدود Romanche (الصورة من R. M. Pratt) معهد علوم
تجار وودز هول



الشكل (٤ - ٢٨) : تيار عكر في بحيرة اونتاريو على مصب نهر نياغارا . ولقد نتج هذا التيار عن مياه النهر الحاملة للرسوبيات . لاحظ أن جزءاً من مياه النهر قد حملت بواسطة التيارات الموازية للشاطئ ، long-shore currents .

المساء عند نهاية المنحدر القاري في أماكن كثيرة (الشكل (٤ - ٢٨)) . ويبدو أن هذه السطوح المساء تشبه المراوح الرسوبية (٦٣) التي تنشأ عندما تدخل الأنهار ودياننا متسعة . وتحتوي هذه المراوح تحت البحرية حصى وقواقع مياه ضحلة في بعض الأماكن . ولا تحدث هذه المراوح في كل مكان على أقدم المنحدر القاري .



الشكل (٤ - ٢٩) :
ملاح ترسب تيارات
العكر . يظهر في الصورة
أسفل الطبقة . وتشير
الانثار التي تشبه الدوائر
الى الاتجاه المماس
للتيار . أما الملاح التي
تقطع المينة فهي انثار
 groove . ، وهن
المحتمل أنها نشأت عن
حركة جلمود صخري
بواسطة تيار العكر .
وقطر المينة هذه حوالي
قدمين .

وحتى نستطيع أن نقيم احتمال وجود وأهمية تيارات العكر في الماضي الجيولوجي ، لا بد من النظر في مظاهرها الترسيبية . ان تيارات العكر بسبب كثافتها وسرعتها يمكن أن تنقل حبات كبيرة . وترسب هذه الحبات الكبيرة مع الكتلة الرئيسية من المادة الناعمة بسرعة فتستقر الحبات الأكبر والاثقل أولا مشكلة طبقات متدرجة (٦٤) وتدل قابلية تيارات العكر على الحث على أنها يمكن أن تحت أو تشوه سطح الطبقات التي تقع دونها . وهذا ما يوضحه (الشكل (٤ - ٢٩)) .

اسئلة

- ٤ — ١ صف طريقتين من طرق التجوية الميكانيكية .
- ٤ — ٢ صف طريقتين من طرق التجوية الكيماوية .
- ٤ — ٣ رتب المعادن الشائعة حسب مقاومتها للتجوية الكيماوية .
- ٤ — ٤ في أي مناخ تكون التجوية الكيماوية أكثر فعالية ولماذا ؟
- ٤ — ٥ في أي مناخ تكون التجوية الميكانيكية أكثر فعالية ولماذا ؟
- ٤ — ٦ الكوارتز معدن شائع في صخور الحجر الرملي . لماذا ؟
- ٤ — ٧ ماهي الاثار التي تتوقعها بزيادة كمية ثاني اكسيد الكربون في المناطق الصناعية على حجارة البناء .
- ٤ — ٨ لماذا توجد التربة الناضجة على شكل مستويات او انطقة ؟ صف هذه المستويات .
- ٤ — ٩ صف اهمية المناخ ونوع الصخر على التربة المنتجة .
- ٤ — ١٠ ماهو اصل الصوان ؟
- ٤ — ١١ ماهي المواد الرابطة cements الشائعة في صخور الحجر الرملي .
- ٤ — ١٢ تصنف الصخور الرسوبية الحطامية على اساس
- ٤ — ١٣ ماهي الصخور التي تتشكل من تجوية الجرانيت في مناخ بارد ؟ وفي مناخ حار رطب ؟

٤ — ١٤ كيف يمكن أن يحدد سطح وقاع الطبقات في مجموعة من الصخور الرسوبية العامودية ؟

٤ — ١٥ كيف يمكن أن تختلف الرسوبيات المتوضعة في مياه ضحلة عن تلك المتوضعة في مياه عميقة ؟

٤ — ١٦ ماهي المظاهر التي يمكن أن تستعمل لتمييز رسوبيات متوضعة بتيارات العكر ؟

٤ — ١٧ ماهو التاريخ الجيولوجي الذي يمكن أن يستدل عليه من كل من الصخور التالية :

أ — صخر رملي غني بالفلسبار ، ب — كونجلوميرات جيدة الاستدارة ،

ج — صخر رملي يتكون كلية تقريبا من الكوارتز ، د — حجر جيرى مع مستحاثات زائدة .

٤ — ١٨ ماهي انواع المستحاثات التي تتوقع وجودها في صخور ترسبت في البيئات التالية :

أ — مياه مدارية ضحلة ، ب — مياه عميقة ، ج — قرب شاطئية حارة ،

مراجع اضافية

General

- Ernst, W. G., *Earth Materials*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1969, 150 pp. (paperback).
- Pough, F. H., *A Field Guide to Rocks and Minerals*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1955, 349 pp.

Weathering

- Boyer, R. E., "Field Guide to Rock Weathering," *ESCP Pamphlet Series, PS-1*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1971, 37 pp.
- Foth, Henry, and H. S. Jacobs, "Field Guide to Soils," *ESCP Pamphlet Series, PS-2*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1971, 38 pp.
- Keller, W. D., "Geochemical Weathering of Rocks: Source of Raw Materials for Good Living," *Journal of Geological Education* (February, 1966), Vol. 14, No. 1, pp. 17-22.
- Keller, W. D., *Principles of Chemical Weathering*. Columbia, Mo.: Lucas Brothers, 1957 (revision), 111 pp.
- Kellogg, C. E., "Soil," *Scientific American* (July, 1950), Vol. 183, No. 1, pp. 30-39. Reprint 821, W. H. Freeman and Co., San Francisco.

Sedimentary Rocks

- Freeman, Tom, "Field Guide to Layered

- Rocks," *ESCP Pamphlet Series, PS-3*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1971, 43 pp.
- Heezen, B. C., "The Origin of Submarine Canyons," *Scientific American* (August, 1956), Vol. 195, No. 2, pp. 36-41. Reprint 807, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Hsü, K. J., "When the Mediterranean Dried Up," *Scientific American* (December, 1972), Vol. 227, No. 6, pp. 26-36. An excellent article on the interpretation of climate and environment from sedimentary rocks and other geologic features.
- Kuenen, P. H., "Sand," *Scientific American* (April, 1960), Vol. 202, No. 4, pp. 94-106. Reprint 803, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Laporte, L. F., *Ancient Environments*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1968, 116 pp. (paperback).
- Pettijohn, F. J., and P. E. Potter, *Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures*. New York: Springer-Verlag, 1964, 370 pp.
- Potter, P. E., and F. J. Pettijohn, *Paleocurrents and Basin Analysis*. Berlin: Springer-Verlag, published in United States by Academic Press, Inc., New York, 1963, 296 pp.

- Shrock, R. R., *Sequence in Layered Rocks*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1948, 507 pp.

- Zenger, D. H., "Dolomitization and Uni-

formitarianism," *Journal of Geological Education* (May, 1972), Vol. 20, No. 3, pp. 107-124.

Trace Elements and Health

Cannon, H. L., and D. F. Davidson, *Relation of Geology and Trace Elements to Nutrition*. Geological Society of America, Special Paper No. 90. 1967, 68 pp.

Gillie, R. B., "Endemic Goiter," *Scientific American* (June, 1971), Vol. 224, No. 6, pp. 92-101.

Scherp, H. W., "Dental Caries: Prospects for Prevention," *Science* (September 24, 1971), Vol. 173, No. 4003, pp. 1199-1205.

Shacklette, H. T., H. I. Sauer, and A. T. Miesch, *Geochemical Environments and Cardiovascular Mortality Rates in Georgia*. U.S. Geological Survey Professional Paper 574C, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1970, 39 pp.

Spencer, J. M., "Geology, Health, and Phosphorus," *Journal of Geological Education* (May, 1974), Vol. 22, No. 3, pp. 93-96.

Van Ness, G. B., "Ecology of Anthrax," *Science*, (June 25, 1971), Vol. 172, No. 3990, pp. 1303-1307.

Warren, H. V., "Medical Geology and Geography," *Science* (April 23, 1965), Vol. 148, No. 3669, pp. 534-536.

الفصل الخامس الصخور المتحولة

Metamorphic Rocks

عوامل التحول
انواع التحول
تشكل الصخور المتحولة والتعرف عليها
الصخور المتحولة غير المتورقة
الصخور المتحولة المتورقة

التحول الديناميكي

التفسير
درجات التحول
مسائل

اسئلة
مراجع اضافية

عرق من الكوارتز في صخر المايكاشيست وقد طوي بشكل معتد . مجرى
نهر Potomac بالقرب من واشنطن العاصمة . الصورة من J. C. Reed ،
المساحة الجيولوجية الامريكية .

0



عوامل التحول

Agents of metamorphism

الصخور المتحولة هي تلك الصخور التي تغيرت إما في بنيتها أو في تركيبها المعدني بواسطة أي مما يلي : الحرارة ، الضغط ، الضغط الموجه (١) ، قوة القص (٢) ، أو المحاليل الكيماوية الفعالة ، وبما أن أي صخر من أي نوع أو تركيب يمكن أن يخضع لأي من هذه العوامل أو لجميعها ، فإن نوعيات تحول الصخور لا نهاية لها . تلاحظ أن التغيرات التي حصلت في تصخر الرسوبيات ، هي حسب هذا التعريف تحولية . إلا أن مثل هذه التغيرات لا تعتبر تحولية ، واستثنائها من التحولات إنما هو أمر اعتباطي .

والتغيرات التي تجري خلال عملية التحول هي نتيجة لمحاولة إعادة التوازن مع الظروف الجديدة التي أخضع اليها الصخر . لاحظ مرة أخرى هذا التشابه مع التجوية . تحدث التجوية عندما تخضع الصخور التي تشكلت بعيدا داخل الأرض للظروف السطحية . وعلى كل حال ، فعند تحول صخور متشكلة على السطح (مثل الفصار) ، فإن التغيرات التي تحدث تسير في الاتجاه المعاكس حيث تتشكل المعادن عالية الحرارة .

وهناك كثير من العوامل التي تزيد أو تؤخر تفاعلات التحول . فمساحة

السطح الواسعة تزيد التفاعل الكيماوي وعليه فان الصخور ناعمة الحبات تتفاعل بسرعة أكبر من الصخور خشنة الحبات . ثم ان المواد الزجاجية اقل استقرارا من المواد المبلورة وعليه فانها تتفاعل اسرع منها .

ويحتمل ان تكون الحرارة (٣) اهم عامل يتسبب في اعادة التبلور ، فمن المعروف جيدا انه كلما تعمقتا في داخل الارض في المناجم أو الابار المحفورة ، فان الحرارة تزداد . وعليه فان الدفن العميق وحده يمكن أن يتسبب في رفع الحرارة ، غير انه من المحتمل ان معظم الصخور المتحولة قد تشكلت في أماكن حيث ارتفاع الحرارة مع العمق هو اكثر من الارتفاع الطبيعي .

والضغط ايضا ناتج عن الدفن . وهو ناتج عن وزن الصخور التي تعلو المضغوط . وتفقد الصخور كثيرا من قوة تماسكها عميقا في الارض على درجات الحرارة والضغط العاليين وتصبح اكثر لدونة (٤) ولهذا السبب ، يصبح فعل الضغط الناتج عن وزن الصخور التي تعلوها واحدا في جميع الاتجاهات ، تماما كالضغط الناتج عن وزن الماء في بركة سباحة الذي يؤثر في جميع الاتجاهات .

ويكون الضغط الموجه (الاجهاد) (٥) عادة موجودا خلال التحول . وتأثير هذا الضغط هو طي الصخور ذات اللدونة . ويمكن لهذا الاجهاد أن يشسوه الصخور ، وما الحصى المستحاثات المطبوخة الا شواهد على هذا التشويه . ان اصل حقول هذا الضغط ليس معروفا . وسوف نبينه مفصلا في الجزء الثالث .

وتنتج قوة القص عندما تتكسر الصخور وتحرك بفعل الضغط الموجه ، كما يحدث في الصدوع (٦) وفي الصخور المتحولة تتوزع الحركة عادة على سطوح متقاربة . والمحاليل الكيماوية الفعالة مهمة جدا في تفاعلات التحول . فحتى عندما يكون الضغط والحرارة عاليين بما يكفي لحدوث تفاعل التحول ، فانه لا بد على الغالب من بعض الماء حتى يحدث التفاعل . وبدون الماء الذي يعمل كعامل مساعد (٧) ، قد يكون التفاعل بطيئا جدا او انه قد لا يحدث ولكن الماء يكون موجودا في معظم الصخور ، ويكفي منه طبقة رقيقة على اطراف الحبة .

3. Heat
4. Plasticity
5. Stress

6. Faults
7. Catalyst

وقد يحوي الماء موادا اخرى تتسبب في التفاعلات او تزيدها . وهو قد يحمل للصخرة او يجرف منها بعض العناصر . ثم ان كميات قليلة من الماء يمكن ان تنقص الى حد كبير قوة الصخور التي هي تحت التحول .

انواع التحول

Types of metamorphism

يمكن تقسيم الصخور المتحولة حسب نشأتها الى ثلاث مجموعات ، رغم ان هناك تدرج بين المجموعات وهي :

Thermal or contact

١ — صخور متحولة حراريا أو بالتماس

توجد هذه الصخور ، في الغالب ، على أطراف الكتل النارية الجوفية مثل الباثوليث . وتدعى هذه الصخور هورنفلز (٨) .

Regional

٢ — صخور متحولة اقليمية

وسميت كذلك لانها تحتل في الغالب مساحات واسعة وتتشكل هذه الصخور عميقا في القشرة ، ولما وجودها على السطح فانه يكشف عن رقع وحت كبيرين . ولقد تبلورت هذه الصخور عموما تحت ضغط موجه (٩) ، ومن ثم فان المعادن الجديدة تتكون في اتجاه يتلاءم مع اتجاه الضغط . وتدعى هذه الصخور متورقة (١٠) واكثرها شيوعا صخور الناييس (١١) وصخور الشيست (١٢) .

٣ — صخور متحولة ديناميكية

وتنتج من التكسير والطحن بدون تبلور زائد .

تشكل الصخور المتحولة والتعرف عليها

Formation and identification of metamorphic rocks

يمكن تقسيم الصخور المتحولة حسب نسيجها الى مجموعتين وذلك من اجل

8. Hornfels

9. Stress

10. Foliated

11. Gneiss

12. Schist

تصنيفها والتعرف عليها :

- ١ — متورقة — ويبدو فيه اتجاه معين أو طبقية تبدي توجيهها أو تطبيقا .
- ٢ — غير متورقة — (١٢) — صخور متجانسة أو كبيرة الكتلة .

الصخور المتحولة غير المتورقة Non-foliated Metamorphic Rocks

سنبحث الصخور غير المتورقة أولا لأنها هي الأبسط . هناك نوعان من الصخور المتحولة غير المتورقة . يتألف النوع الأول من الصخور المتحولة حراريا أو بالتماس وتدعى هورنفلز (١٤) وتوجد عموما على شكل احزمة ضيقة حول الكتل الجوفية ويمكن أن تنشأ من أي نوع من المادة الأصلية (١٥) . وهي تسمى أحيانا بالصخور المحروقة (١٦) ، والاسم مناسب لأن تشكلها يشبه تماما بعملية حرق الفخار الطيني في الفرن (١٧) . وهي عموما صخور ناعمة الحبات ، قوية ، يصعب التعرف عليها بدون دراسة مجهرية إلا إذا كانت العلاقات الجيولوجية



الشكل (٥ - ١) : هورنفلز
Hornfels
تري تطبيقا وتطبيقا تدريجا .
وبزيد قطر هذه العينة على يوصفتين . الصورة
من F. C. Armstrong . المساحة
الجيولوجية الأمريكية .

واضحة . وهي تتراوح بين التبلور الكامل بدون الحفاظ على أي مظهر من المظاهر الأصلية وبين تغير قليل مع الحفاظ على معظم المظاهر الأصلية . (الشكل ٥-١) . وتتكون معادن جديدة في بعض هذه الصخور وينتج النمو غير المنتظم في مراحله الأولى ما يسمى بالصخور المنقطة (١٨) . وتكون الصخور التماسية الحاملة

13. Non-foliated
14. Hornfels
15. Parent Rock

16. Baked
17. Kiln
18. Spotted Rocks

للكالسايت عادة جميلة المنظر وتحتوي على بلورات كبيرة من الجارنت الاحمر (١٩) ومعادن اخرى .

وينتج النوع الثاني من انواع الصخور المتحولة غير المتورقة عندما تكون المعادن المتحولة حديثة التشكل متساوية الابعاد ومن ثم فانها لا تنمو في اتجاه مفضل . وافضل الامثلة على ذلك هي الصخور التي تنتج عن تحول صخور وحيدة المعدن مثل حجر الجير ، وحجر الرمل الكوارتزي والدونائيت (٢٠) وفي حالة الحجر الجيري الذي يتألف من الكالسايت ، لا يمكن تشكل معدن جديد ، وعليه فان بلورات الكالسايت الصغيرة في الحجر الجيري ، تكبر ، وتتطور تبعا لذلك البنية المتشابكة (٢١) ويصبح الصخر رخاما (٢٢) (الشكل (٢-٥)) . ويمكن تمييز الرخام من حجر الجير فقط ببلوراته الكبيرة وعدم وجود المستحاثات ولان الاثنين يتكونان من الكالسايت فانها يفوران مع الحمض . وقد يتخذ



الشكل (٢ - ٥) :
رخام وهو يري بنية
متداخلة خشنة. الصورة
من Ward's

اما صخور الحجر الجيري غير النقية ، فهي كما تقدم تنتج معادن جديدة ولا سيما العقيق الاحمر . وهناك رخام الدولومايت ايضا . وبالمثل لا يستطيع حجر

الرخام اي لون ، الا ان سخور الكالسايث النقية البيضاء اميل لان تكون رخاما من حجر الجير .

الرمال الكوارتزيتي ان يكون معادن جديدة ، فتكبر بلورات الكوارتز وتتداخل فتشكل الكوارتزيت (٢٢) . ويتميز الكوارتزيت عن الكالسيدوني والصوان والإبال ببريقه السكري الغريب . ومن الافضل ان نحافظ على استعمال مصطلح كوارتزيت للصخر المتحول رغم أن الحجر الرملي الكوارتزيتي يسميه بعضهم كوارتزيت ويسمون الصخر المتحول ميتاكوارتزيت (٢٤) .

وقد يتشكل الرخام والكوارتزيت تحت ضغط موجه ، ومن ثم فان البلورات قد تنتظم في صفوف ، ولكن نظرا لان البلورات متساوية الأبعاد ، فان هذا التنضيد لا يمكن رؤيته إلا بالفحص المجهرى . وعليه ، ورغم وصفنا لهذه الصخور بأنها غير متورقة ، قد يكون لبعضها تورق لا تراه العين .

لقد نظرنا حتى الان على التحول التقدمي ، وهو التحول الناتج عن زيادة الحرارة والضغط والعوامل الأخرى للتحول . والمثال التالي يبين التحول التراجعي (٢٥) ، وهو تحول يجري على درجة حرارة اقل من الدرجة التي تشكل عليها الصخر أصلا .

فالدونيت (٢٦) يتكون أساسا من معدن الأوليفين ، وهو أعلى درجة حرارة بين المعادن في سلسلة بوين ، وعندما يخضع لنفس ظروف التحول التي انتجت الصخور التي بحثت سابقا ، فانه يتحول أيضا — لكن على درجة حرارة اقل من درجة حرارة تشكله . فيتغير الأوليفين الى المعدن سربنتين (٢٧) ، ويدعى الصخر المتحول الناتج سربنيت (٢٨) . ولقد بحثت طريقة تمييزه في الفصل الثاني . وفي حالات أخرى يتكون التالك (٢٩) بدل السربنتين . فاذا كان صخر التالك غير متورق سمي **حجر الصابون (٣٠)** ، واذا كان متورقا فيدعى **تالك شيبست (٣١)** . وقد بحثنا طريقة التعرف على التالك في الفصل الثاني . وان اختلافات طفيفة في تركيب الصخرة الأم او في المحاليل المائية التي تتسبب في هذا النوع من التحول ، قد تكون هي السبب في تكوين هذا المعدن او ذاك .

23. Quartzite

24. Metaquartzite

25. Retrogressive

26. Dunite

27. Serpentine

28. Serpentinite

29. Talc

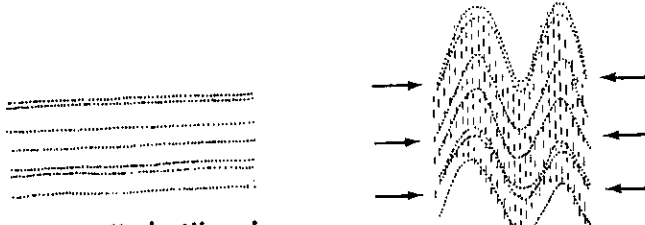
30. Soapstone

31. Talc Schist

Foliated Metamorphic Rocks

الصخور المتحولة المتورقة

يحدث التحول الاقليبي عموماً في المناطق التي تكون خاضعة لعملية تشويه. وهذه المناطق الفعالة جداً تكون في الغالب مراكز السلاسل الجبلية . وتنتج الصخور المتحولة اقليمياً بنفس انواع القوى التي تنتج التراكيب الجبلية . ان القوى التي تطوى وتصدع الصخور الضحلة التي تظهر على سفوح السلاسل الجبلية قد تخلق حقول الضغط الموجه (الاجهاد) الذي يعيد تبلور الصخور المتحولة الموجودة في الاعماق عندما تظهر من جراء ارتفاع مراكز السلاسل الجبلية .



صخور الاصل الرسوبية الافقية

الشكل (٥ - ٢) :
تطور التورق foliation

مايكاً ، تبدو تخطيطياً بخطوط متقطعة ، وتنمو متعامدة مع القوى التي يمكن أن تطوى الصخور خلال عملية التحول . لاحظ أن التورق يمكن أن ينشأ بزاوية على التطبيق .

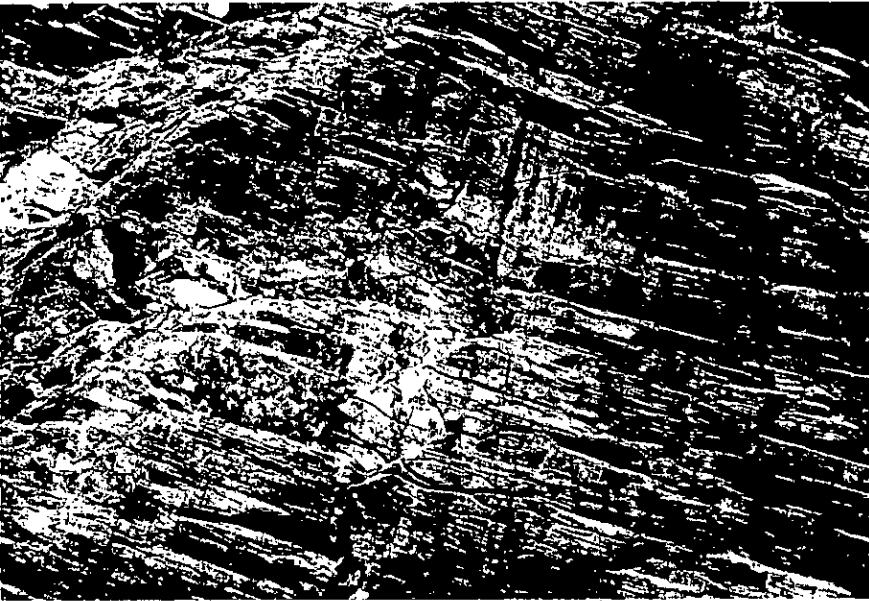
ان مثالا واحداً عن الصخور الناتجة عن زيادة درجة التحول سيوضح معم انواع الصخور المتحولة المتورقة . تتشكل نفس هذه الانواع من الصخور عندما تتحول صخور أصلية كثيرة غير تلك ، ان الاختلافات في التركيب الكيماوي الاصلي تغير الكميات النسبية للمعادن المتحولة تغيراً بسيطاً .

يتكون الفشار (٢٢) أساساً من الصلصال . وينقلب الصلصال الى مايكا خلال عملية تحول الى درجة دنيا ، والى فلسبار على درجات تحول الى درجة عليا . ويعتمد نوع المايكا ونوع الفلسبار المتشكل على التركيب الكيماوي الاجمالي . قارن هذا بالتجوية الكيماوية ، لاحظ أن التجوية هي تحول تراجمي .

ولان المايكا معادن منبسطة وورقية ، فانها تنمو وأوراقها متعامدة مع الضغط الموجه، مشكلة بذلك اتجاهها مفضلاً (٥ - ٣) و (٥ - ٤) و (٥ - ٥) . ولقد

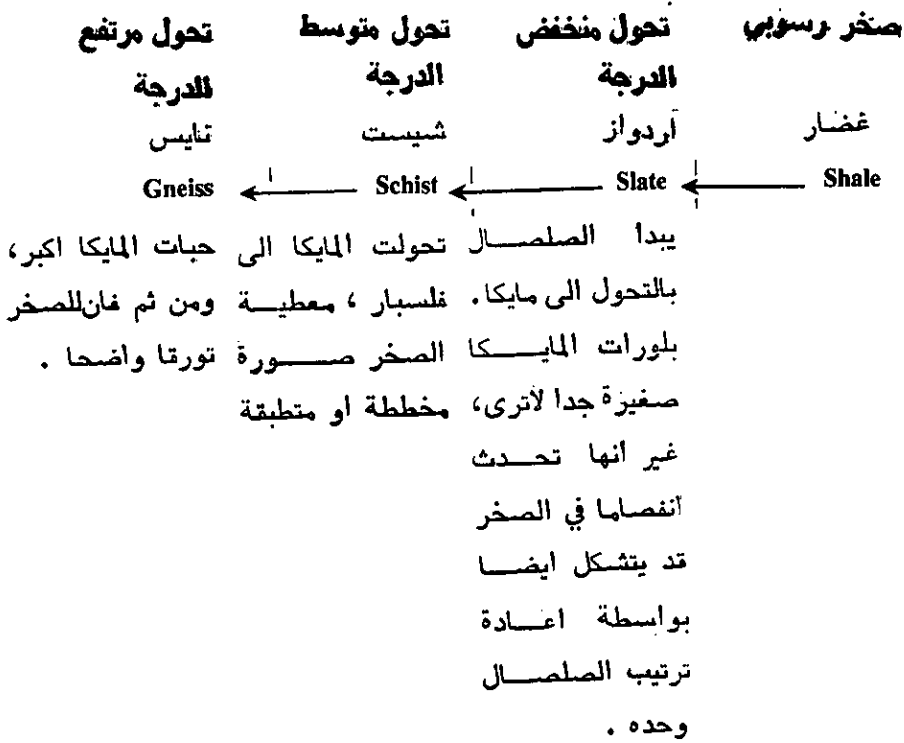


الشكل (٥ - ٤) :
الانقسام
والتطبق في الصخر
المطوية . ونوع الصخر
هو slate . قارن
مع الشكل (٢ - ٥) .
الصورة من A. Keith
المساحة الجيولوجية
الأمريكية .



الشكل (٥ - ٥) : انكشاف نموذجي لصخر slate . الطبقات تقريبا عمودية
وترى باختلافات اللون . التورق متعامد مع التطبيق . الصورة من J. B. Woodworth
المساحة الجيولوجية الأمريكية .

اوضحت الفحوصات المجهرية لبعض الصخور المتورقة ان سطوح الطبقات قد ازاحت قليلا في مستوى التورق . وهذا يدل على ان التورق (وعلى الاقل في بعض الاماكن) يتشكل في اتجاهات الضغط القاص . وتكون اتجاهات الضغط القاص في الغالب على ٤٥° من الاتجاه الاعظم للضغط الموجه في المواد المتجانسة وعليه فان التورق يمكن ان يتشكل متعامدا مع اتجاه الضغط الموجه الاعظم او على حوالي ٤٥° من ذلك الاتجاه .
والمتواليات الناتجة عن تحول الفصاير هي كما يلي :



وتعطي اسماء الصخور حسب بنية الصخر الاجمالية وليس حسب التحولات المعدنية التي تحدث على مدى درجات الحرارة والضغط . (الاشكال (٤ — ٦) ،
(٤٠ — ٧) ، (٤ — ٨) . وتحتوي معظم انواع الشيسيت على الفلبسبار ، غير
ان الاسم (نايبس) قد خصص للصخور التي تحوي فلبسبارا اكثر من المايكا
بكثير . اما الصخور الاخرى التي لها نفس التركيب الكيماوي الاجمالي ، ومن
ثم التي تنتج نفس الصخور المتحولة ، فهي صخور حطامية وبركانية معينة

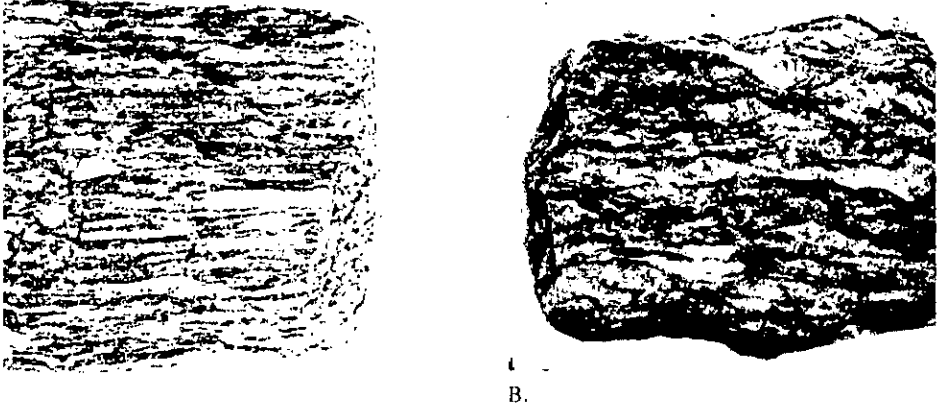


الشكل (٥ - ٦) : انكشاف صخر متورق . الصخر عبارة عن رخام غير نقي ، أما التورق فهو مواز للتطبيق . أما الجسيمات البيضاء الموجودة فوق السكين فهي كوارتزيت ولقد تشكلت عندما تكسرت طبقة من الحجر الرملي بشكل هش عندما حصل الطي . الصورة
J. A. Donaldson
المساحة الجيولوجية الكندية .



الشكل (٥ - ٧) :
غازنت مايكاشيست .
ولقد نمت بلورات
الغازنت الكبيرة خلال
عملية التحول . ولا
يرى التورق بوضوح في
الصورة . الصورة من
Smithsonian Institution

وصخور رملية كثيرة واركوز وجرانيت وريولايت . ونادرا ما تكون الصخور الخشنة في هذه القائمة هي الصخور الاصلية للاردواز أو الشيست ناعم الحبات . ولكنها تبقى عادة غير متأثرة حتى تصل الى درجة التحول المتوسطة . ان وجود الاردواز في مناطق لم تتحول فيها الصخور غير الفضارية يدل على أن الاردواز قد



الشكل (٥ - ٨) : ناييس . أ - يتضح التورق من تعاقب الطبقات غير المستوية من المعادن السوداء والقاتمة . ب - ان الطبقات في هذه الناييس أكثر عدم انتظام . الصورة من Ward's .

تشكل باعادة التوجيه الميكانيكي لحبات الصلصال خلال عطفية الطي مع اعادة تبلور محدودة .

وحتى نغطي معظم انواع الصخور المتحولة الشائعة ، لا بد من اعتبار مجموعة واحدة اخرى فقط من الصخور المتحولة اقليميا . تتشكل هذه الصخور من تحول البازلت وانواع معينة من الصخور الحطامية والصخور البركانية الرسوبية ، والجابرو (٢٣) والجروك (٢٤) وبعض الصخور الرسوبية الحاملة للكالسيت ، والدلومايت . والسلسلة هي :

الصخور الام تحول منخفض الدرجة تحول متوسط وعالي الدرجة

بازلت	شبيست اخضر	لمفيولات
Basalt	Greenschist	Amphibolite
	كلورايت متورق ناعم الحبات	(امفيول شبيست)
	(مايكا خضراء) ، امفيول	بلاجيوكلاز متورق خشن
	خضر ، كوارتز	الحبات ، امفيول قاتم

Dynamic metamorphism

التحول انديناميكى

ينتج النوع الثالث من التحول عندما تتكسر الصخور وتتمزق وتنسحق عن السطح حيث الحرارة والضغط ادنى بكثير من أن يتسببا في أي إعادة تبلور هامة . وعليه ، فإن هذه الصخور تكون عادة مرافقة لمناطق التصدع ، غير أن هناك تدرجا كاملا بين هذه الصخور وبين الشيست العادي ، وخاصة الشيست منخفض الرتبة المتشكل من صخور خشنة الحبات . ويسمى الصخر الناعم الحبات المسحوق الذي يوجد في نطاق التصدع ميلونايت (٣٥) وأحيانا يدعى طين الصدوع (٣٦) ويدعى الصخر المتدرج الى الشيست شبيه الشيست (٣٧) أو الشيست التهشيمي أو النائيس . ويكون أصل هذه الصخور واضحا عندما توجد في الحقل ، ولكن التعرف عليها صعب جدا في العينة اليدوية . وهناك نوع غير عادي من التحول الديناميكى يمكن أن يحدث في فوهات الارتطام المتسبب عن الشهب ، كما هو موصوف في الفصل الحادي والعشرين .

التفسير

Interpretation

لقد كان مردود دراسة الصخور المتحولة والتجارب المخبرية ، معلومات كثيرة عن الظروف والعمليات السائدة عميقا في القشرة . أي أننا ، إذا عرفنا ظروف تشكل معدن أو بالاحرى ، مجموعة معادن (عندما نجد الصخور مكونة من مثل هذه المعادن) ، نعرف الظروف التي تتكون عندها الصخور وتتعمق المسألة بسبب تنوع الصخور الطبيعية فهي تحوي عناصر كثيرة (هي المتغيرات في التجربة) وهي أكثر مما يمكن أن يدرس بسهولة في التجارب . ثم انه ليس من المحتمل أيضا إعادة انتاج تأثيرات الزمن الجيولوجي في المختبر ، وعموما ليس ممكنا أن نتحرى تأثيرات المحاليل أو المواد الطيارة التي يمكن أن تكون

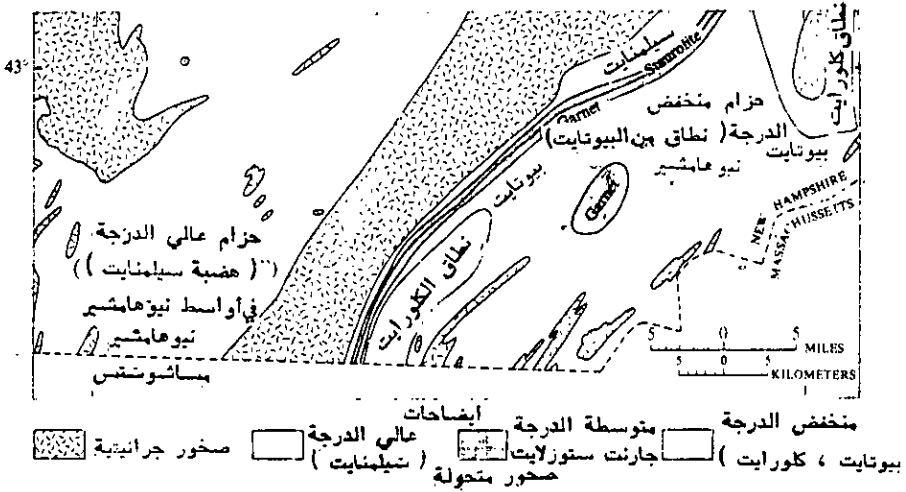
ساعدت التفاعلات في الصخور الطبيعية .

وعليه ، فانه بالرغم من اننا نزداد فهما لعمليات التحول ، تبقى اماننا مسائل كثيرة . ان الغرض من هذا الفصل ، هو اكساب الطالب قدرة اكبر على تمييز الصخور المتحولة . لكن بدون معرفة الكيمياء ، وعلم المعادن والدراسة الميدانية والمجهرية . لن يكون الطالب قادرا على تفسير التاريخ الجيولوجي التفصيلي لهذه الصخور ، الا بطريقة عامة جدا . ولتفسير الصخور المتحولة تفسيراً كاملاً ، فان على المرء ان يعلم هل احتوت هذه الصخور على تجمع معادن متوازنة ام هل تغيرت الظروف قبل ان تكتمل تفاعلات التحول ، ام هل اضيفت مادة او اخذت خلال التحول ، وهل اخضعت الصخور الى فترة تحول واحدة او اكثر . ويمكن للمرء ان يفكر في احتمالات اخرى لا بد من اعتبارها ، وكمثال ، اذا حصل التفاعل خلال فترة دفن عميق ، فهل يمكن عودة الصخور الى ما يشبه حالتها الاصلية خلال عملية رفع بطيء ؟ لا شك في ان مثل هذا التأثير قد يقع في بعض الحالات ، لكن معظم التفاعلات الكيماوية المعينة تسير في الاتجاه المعاكس ببطء شديد . واذا لم يكن ذلك كذلك ، فانه لن يرى شيء على السطح الا انماج التجوية .

Metamorphic Grade

درجات التحول

لقد تعرفنا اعلاه خلال البحث في تشكل الصخور المتحولة على فكرة درجة التحول او رتبته . ودرجة التحول تفسر ويرتكز على ادلة حقلية ومخبرية ، ولا بد من تفحصها بتفصيل . وقد كانت اول المحاولات لدراسة درجة التحول هي مسح انطقة المعادن . وكان يتم ذلك بحصر الدراسة في نوع واحد من الصخر الام ، كالفضار ، ثم يسجل اول ظهور لمعادن معينة كلما ارتفعت درجة التحول (الشكل ٥-٩) . وهذه الطريقة محدودة في الصخور التي لها تركيب واحد ، ولا تأخذ في الحسبان معادن عدم التوازن . ولقد حسنت هذه الطريقة البسيطة باتخاذ مجموعات من عدة معادن وبمقارنة مجموعات التوازن في صخور من تراكيب كثيرة . ونجابه مشاكل عديدة للتعرف على مجموعات التوازن ، فكان لا بد من عمل حقلية ومخبرية واسعين لايجاد مجموعات توازن واسعة يمكن ان تستعمل بهذه الطريقة .

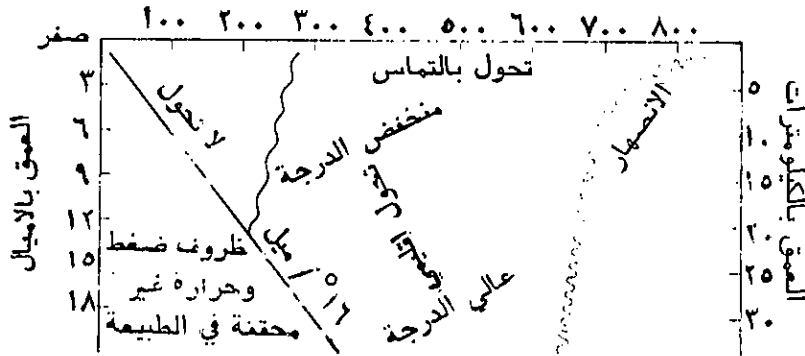


الشكل (٥ - ٩) : درجة التحول في جنوب هامشير الجديدة كما هي مفسرة من المعادن المتحولة في صخور الفضاء . مأخوذة عن Warren Hamilton and W. B. Myers .
المساحة الجيولوجية الأمريكية .

مسائل

Problems

ان اصل الصخور المتحولة يؤدي بنا الى مسائل جيولوجية كثيرة . فالصخور المتحولة اقلية هي اصعبها تفسيراً : فهي تتشكل تحت ضغط وحرارة عالتين . والاعماق التي يمكن ان توجد عليها هذه الحرارة والضغط ، على فرض وجود ارتفاع تدريجي معقول في درجة الحرارة هي في مدى ١ ميل الى ٢٠ ميلاً (الشكل (٥ - ١٠)) ففي المناطق التي تظهر فيها الصخور المتحولة الاقليمية مرتفعة

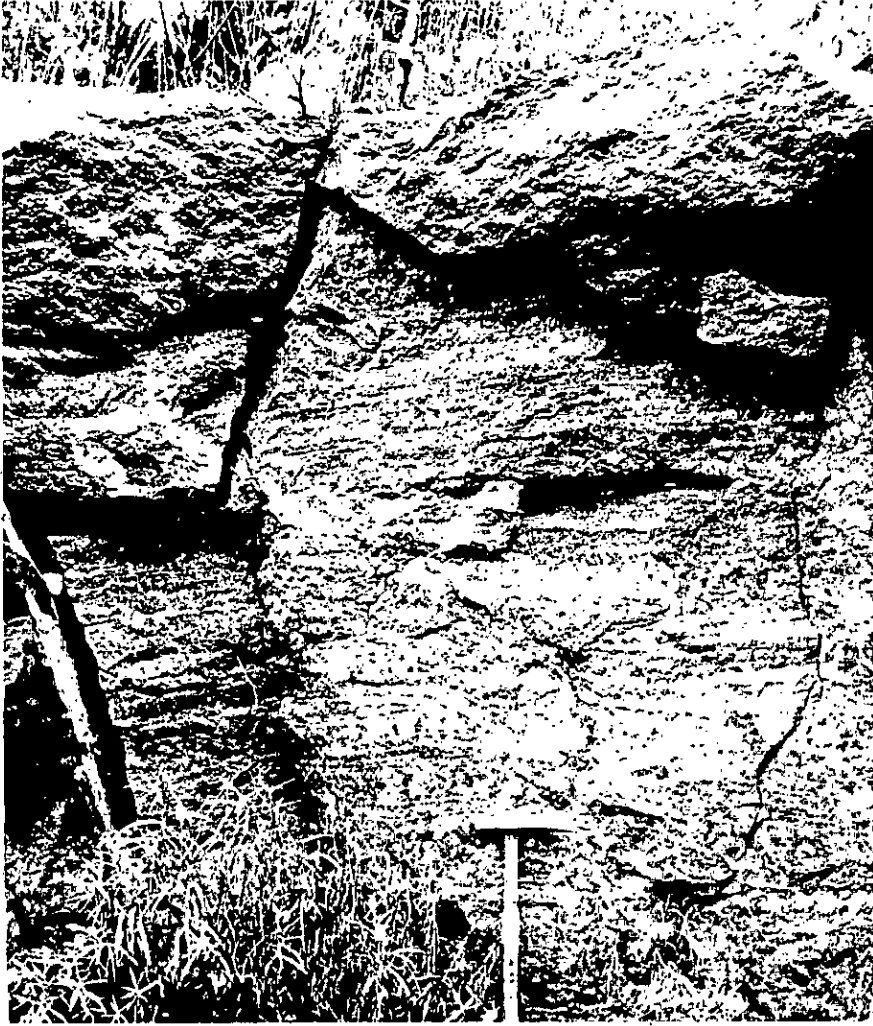


الشكل (٥ - ١٠) : مخطط يري الظروف التي تجري تحنها الاستحالة . ان الضغط متناسب مع العمق ويعتقد ان البيوتايت يتبلور بين ٢٠٠ - ٣٠٠ م بينما الاسبستوس بين ٦٠٠ - ٧٠٠ م او قريباً جداً من درجة انصهار الغرانيت .

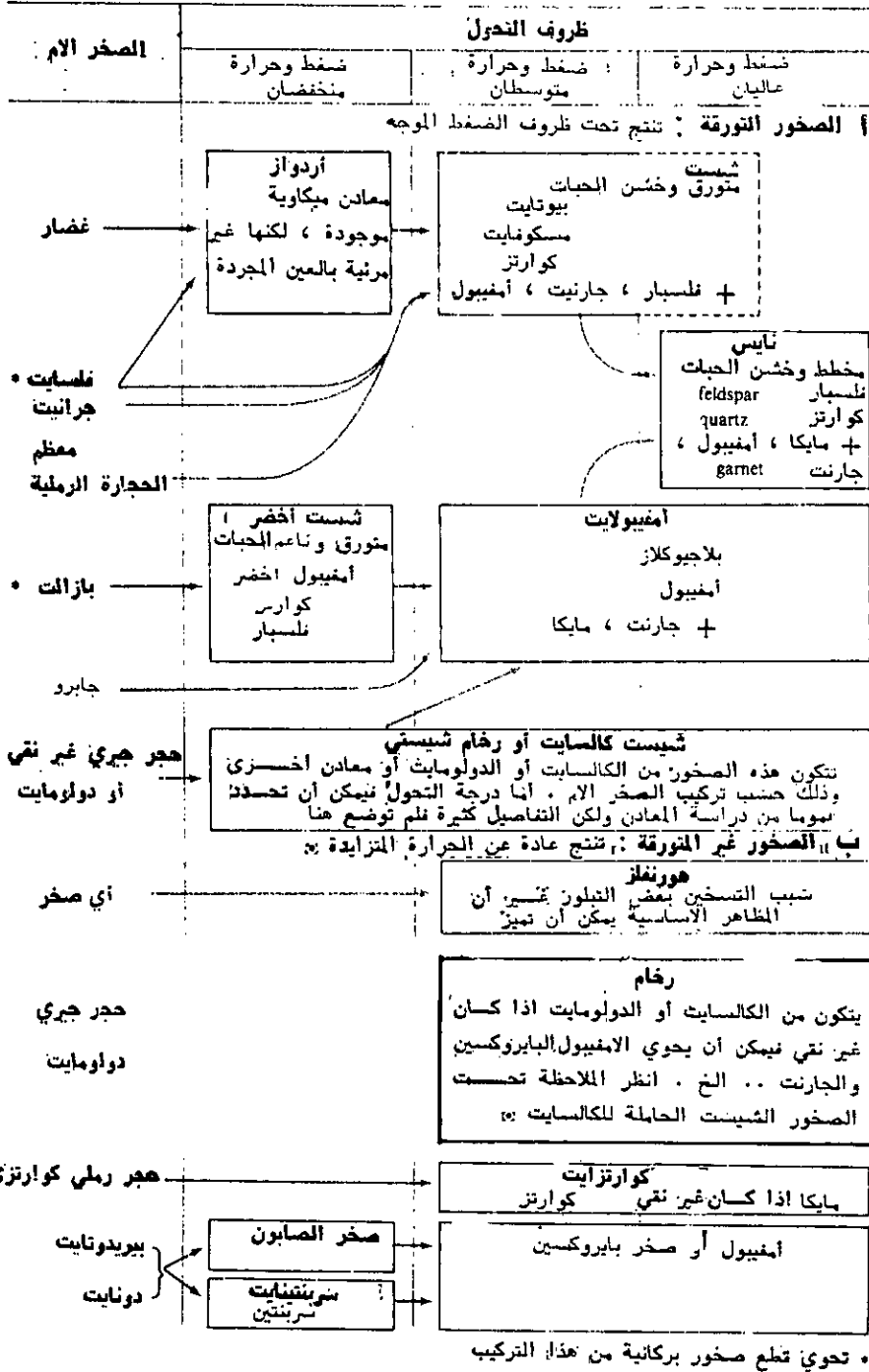
الدرجة قد تكون كمية الحرارة اقل من ذلك ، مما يشير الى أن الارتفاع التدريجي في الحرارة كان أعلى . وليس من غير المعقول أن يكون هناك ارتفاع حراري تدريجي أعلى ؟ لان هذه الصخور تتشكل في مناطق فعالة جيولوجيا . ولكن اصل هذه التدرجات الحرارية هو ذاته مسألة . وقد يكون مرور المagma خلال الصخر جوابا معقولا لهذه المسألة كما اقترح في الفصل الثالث عند البحث عن اصل الباثوليث . وعندما ينظر لها بمقياس كبير ، كما في (الشكل (٥ - ٩)) ، فإن المنطقة الانتقالية الضيقة بين الصخور المتحولة عالية الدرجة (الصخور الحاملة للسيلمنيت) (٢٨) . وبين صخور منخفضة الدرجة (الصخور الحاملة للكلورايت) هي ايضا مسألة يصعب شرحها . أي أنه ، اذا كانت الحرارة قد اتت من الدفن العميق ، فإن توصيل الصخور للحرارة هو بحيث أن الصخور المحيطة يجب أن تكون أكثر سخونة .

ومسألة أخرى هي اصل الجرانيت . فكما هو موضح (بالشكل (٥-١٠)) فإن بعض الانصهار يمكن أن يحدث في أعلى درجات التحول ، ومن ثم فإن عمليات التحول قد يصاحبها فعالية نارية .

وقد تكون كثرة العدسات الصغيرة من الجرانيت الموجودة في الناييس مرتفع الدرجة قد نشأت من مثل هذا الانصهار الجزئي (الشكل (٥ - ١١)) . ويشكل اصل الكتل الجرانيتية الكبيرة كالباثوليث الموجودة في اراضي التحول مرتفع الدرجة مسألة أخرى . فبعضها تظهر فيه اطراف ناعمة الحبات مبردة بسرعة ، ومظاهر أخرى من تلك التي هي نارية واضحة . وبعضها له سطوح تماس تامة التدرج وقد تكون صخورا متحولة . وقد تكون تداخلت مع الناييس مباشرة بعد تشكل الناييس وهو ما زال ساخنا . وقد تكون بعض الصخور الأخيرة نتيجة التحول ، ولكن كما اشرنا في الفصل الثالث ، ان تركيب النظائر لمعظم الباثوليث يشير الى أن منشأه في الجزء السفلي من القشرة او العلوي من الستار (٢٩)



الشكل (٥ - ١١) : ان كتلة الجرانيت الصغير غير المنتظمة والتي تقطع الذورق يمكن ان تكون قد تشكلت بواسطة الانصهار الجزئي . وتنحصر مخرة الجرانيت في مدع صغير حيث ان الذورق مشوه . الصورة من A. W. Postel المساحة الجيولوجية الامريكية .



أسئلة

- ٥ - ١ عرف الصخور المتحولة ،
- ٥ - ٢ ماهي انواع التحول ، وماهي اهم العوامل في كل منها ؟
- ٥ - ٣ ماهو التورق ، وكيف يتشكل ؟
- ٥ - ٤ ماهو التحول بالتماس ، وماهي انواع الصخور المشككة ؟
- ٥ - ٥ كيف يختلف الفضاء عن الاردواز ؟
- ٥ - ٦ ماهو معادل البازلت في التحول منخفض الحرارة ؟
- ٥ - ٧ يتشكل السربنتين من تحول
- ٥ - ٨ يتشكل حجر الصابون من تحول
- ٥ - ٩ كيف تنشأ درجة التحول ؟
- ٥ - ١٠ كيف يمكن أن تختلف العلاقات الحقلية بين صخر جرانيت ناري ومتحول ؟

أسئلة تغطي جميع الصخور والمعادن في الفصول ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥

- ١ - يجمع مصطادو الصخور صخورا ومعادن كثيرة ومختلفة يقطعونها — ويصقلونها . ماهي الصفات الفيزيائية التي يجب أن توجد في هذه الصخور والمعادن ؟

رتب الصخور والمعادن المختلفة التي لها هذه النوعية .

- ٢ - سم وفسر بشكل كامل قدر المستطاع اهمية الصخور التالية :

- ١ - صخر خشن الحبات ذي بنية متداخلة يتكون معظمه من الكوارتز

والفلسبار مع بعض المعادن القاتمة .

ب — صخر ناعم الحبات ، رمادي اسود مع قليل من بلورات البلاجيوكلاز

والاوليفين جيدة التكوين .

ج — صخر متورق مع كثير من المايكا البيضاء .

د — صخر ناعم الحبات ابيض يتكون من الكالسايت مع بعض الاصداف .

هـ — صخر حطامي مكون من حبات كوارتز جيدة الاستدارة قطرها حوالي

١ ملم —

ى — صخر حطامي مكون من الفلسبار والكوارتز مع بعض الهورنبلند

والمايكا والحبات قطرها بشكل رئيسي من ١ الى ٢ ملم وحوائها

زاوية .

(ملاحظة : بعد قراءة الجزء الثاني ، قد ترغب بمراجعة تفسيرات للصخور

الثلاثة الأخيرة) .

٣ — قبل أن تبدأ التعرف على عينات الصخر ، قد يساعدك أن ترتب جميع

الصخور التي ذكرت في الكتاب في نموذج كالنموذج المقترح ادناه وسيوضح

ذلك اهمية النسيج في التعرف على الصخور . وتفسير نشوئها .

تأكد اي نوع :

خشنة الحبات ، نسيج حطامي ناري رسوبي متحول

نسيج متداخل ، كتلة كبيرة

متورقة

ناعمة الحبات

زجاجي

• رغوي Frothy

مراجع اضافية

General

Ernst, W. G., *Earth Materials*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1969, 150 pp. (paperback).

Pough, F. H., *A Field Guide to Rocks and Minerals*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1955. 349 pp.

Metamorphic Rocks

Dietrich, R. V., "Migmatites—A Résumé,"

Journal of Geological Education (September, 1974), Vol. 22, No. 4, pp. 144-156.

Fyfe, W. S., F. J. Turner, and John Verhoogen, *Metamorphic Reactions and Metamorphic Facies*, Chapter 1, "Concept of Metamorphic Facies," pp. 3-20; Chapter 7, "Mineral Assemblages of Individual Metamorphic Facies," pp. 199-239 Geological Society of America, Memoir 73, 1958.

Higgins, M. W., *Cataclastic Rocks*. U.S. Geological Survey, Professional Paper 687, 1971, 97 pp.

Mason, Brian, *Principles of Geochemistry*, 3rd ed., Chapter 10. "Metamorphism and Metamorphic Rocks." New York: John Wiley & Sons, Inc., 1966, pp. 248-282.

الفصل السادس الموارد المعدنية

Mineral Resources

التنوع والاهمية
قابلية الاستهلاك (النفاذ)
تشكل الخامات المعدنية
الرواسب الماجماتية المبتوثة
الترسيب البلوري
الرواسب الماجماتية المتأخرة
بجماتايت
الترسبات المائية الحرارية
خامات متحولة بالتماس
التبخرات او الرسوبيات الكيماوية
رواسب التبر
عمليات التجوية
رواسب اعماق المحيط
موارد الطاقة
أسئلة
مراجع إضافية

تعددين الفحم في ولاية أوهايو . الصورة مأخوذة من مديرية المناجم الامريكية
وشركة ماريون .

7

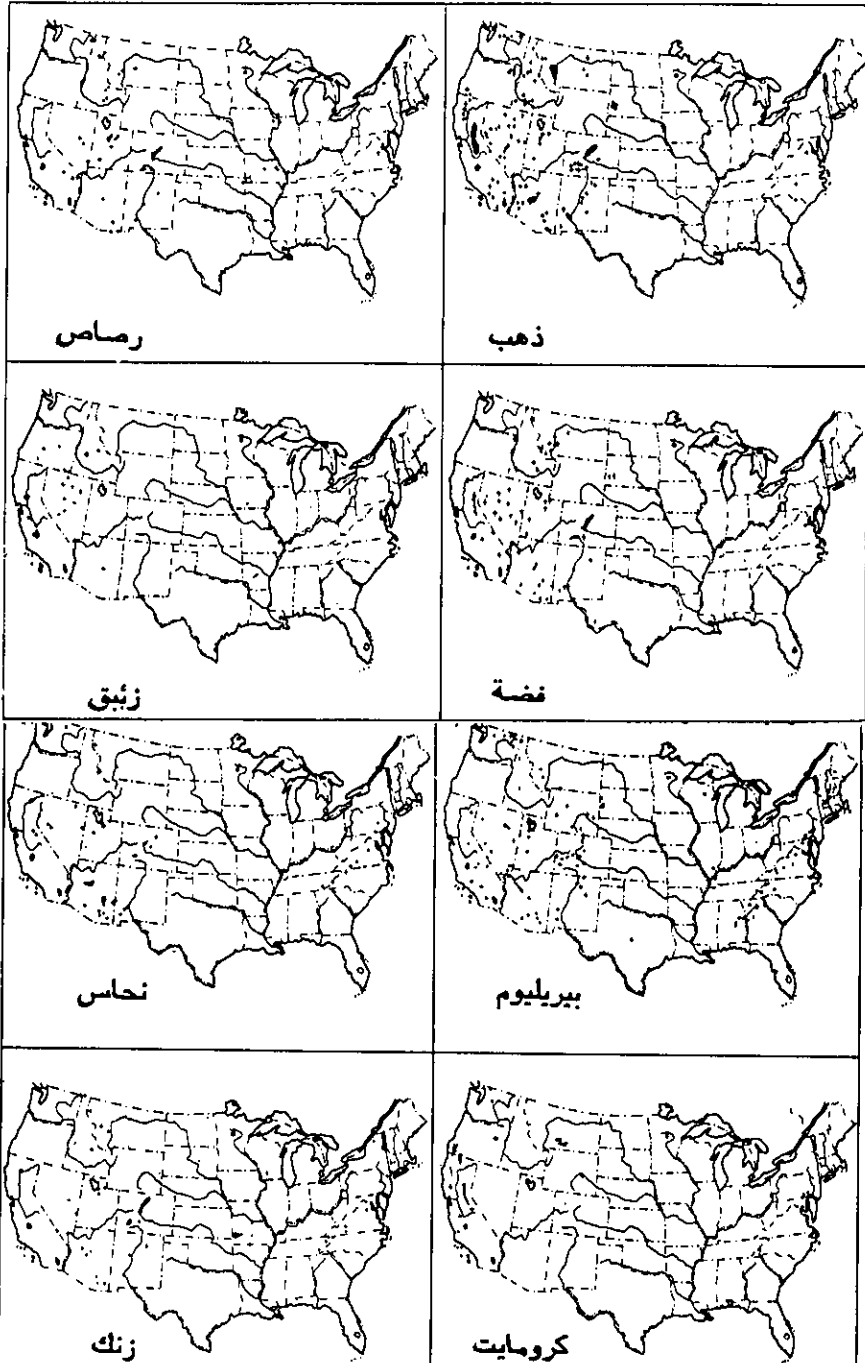


ان كثيرا من المواد التي تكون سطح الارض نافعة للانسان . ويستعمل مصطلح **الموارد المعدنية** ليعني الموارد الطبيعية التي تأتي من الارض . لاحظ ان مصطلح « معدن » الذي يستعمل هنا لا يتبع تعريف المعدن المستعمل سابقا لان كثيرا من المواد التي ستبحث في هذا الفصل ليست معادن بالمعنى الدقيق . ان اهم الموارد المعدنية هي الفلزات والمعادن المنتجة للطاقة ، وسيقتصر هذا الفصل عليهما . وعلى كل حال فان كثيرا من منتجات المعادن الاخرى يعدن من مثل الرمل والحصى ، وحجارة البناء ، والصلصال والدلومايت والحجر الجيري . وسوف يعنى هذا الفصل بشكل رئيسي بأصل الموارد المعدنية . وسندخل بضع مبادئ جديدة ، ومن ثم فانها ستستخدم ، بطريقة ما ، كمراجعة لبحاث المعادن والصخور . وقبل أن نبحث اصل الرواسب المعدنية ، لابد من اعتبار بعض مظاهرها الفريدة .

التنوع والاهمية

Distribution and importance

ليست الموارد المعدنية موزعة بالتساوي على القارات ، لكنها مفرقة (الشكل ٦ - ١) . مما يخلق الامم التي تملك والامم التي لا تملك . ويعتبر النجم او الراسيب المعدني مظهرا نادرا من وجهة النظر الجيولوجية .



الشكل (٦ - ١) : خرائط تري مواقع الرسوبيات الاقتصادية لبعض الفلزات في الولايات المتحدة لاحظ التشابه بين الذهب والفضة ، وبين الفضة والرمصاص والتوتياء . وتقع معظم هذه التوضعات في المناطق الجيولوجية الفعالة والتي ستبحث في الجزء الثالث . المعاومات من خرائط الموارد المعدنية في المساحة الجيولوجية للولايات المتحدة .

ولا نبالغ مهما اكدنا على أهمية الخامات المعدنية للانسان . يعتمد غنى الأمة على مواردها الطبيعية . ولقد لعبت الخامات المعدنية دورا هاما جدا في التاريخ ، رغم أن ذلك لم تسلط عليه الاضواء دائما . ففي العصور القديمة ، قامت حروب وانتعشت حضارات وفشلت أخرى بسبب رواسب الذهب والفضة . وفي العصور الحاضرة جددت الفلزات والمواد المنتجة للطاقة مثل الحديد والفحم والبترومل مسار التاريخ .

قابلية الاستهلاك (النفاذ).

Exhaustibility

لكل خام معدني ابعاد محدودة . فاذا استخرج الخام ، فإن الرواسب تكون قد استنفذت . ومن ثم فإن كل الخامات المعدنية قابلة للنفاذ وليس هنالك طريقة لاستبدالها . وليست هذه اخبارا سارة لاي انسان سافر في بلاد الغرب ورأى اشباح المدن الكثيرة . وتبرز أهمية قابلية النفاذ عندما تعتبر سرعات التعدين . ولقد عدت فلزات في الخمسين سنة الأخيرة أكثر مما عدت في كل الزمن السابق . ومن ثم فالتعامل مع مواردها المعدنية بسرعة لم يسبق اليها . فاذا لم تتوافر موارد جديدة ، فسنواجه احتمال تلاشي بعض الامم كاشباح المدن في الغرب ، ويمكن أن نتحاشى هذا الاحتمال الرهيب بزيادة التقريب مستعملين طرقا حساسة كيميائية ، وفيزيائية ، وبيولوجية ، او بايجاد بدائل كالبلستيك . ولتطوير طرق تصفية جديدة تنفع مع الخامات المتدنية . ويبدو واضحا جدا على أي حال ، اننا يجب أن ندفع ثمننا اعلی لفلزاتنا في المستقبل . والخام هو اية مادة يمكن أن تعدن بربح . وعليه ، فالخام في الولايات المتحدة ، يمكنه أن لا يكون خاما في كندا القطبية او اواسط أستراليا بسبب سعر التعدين وبعد السوق .

ويتبع ذلك ايضا ، أن خاما لا قيمة له اليوم يمكن أن يكون خاما في الغد بسبب تغير الظروف الاقتصادية او التغيرات التكنيكية .

واكثر الموارد الطبيعية أهمية هي المياه السطحية والجوفية والثرية .

وبدونهما لا تكون حياة . وهذان الموردان الاساسيان يختلفان عن بقية الموارد المعدنية في انهما يتجددان بوفرة ، رغم ان الزمن اللازم لذلك قد يكون طويلا بمقاييس الانسان .

تشكل الخامات المعدنية

Formation of mineral deposits

توجد الخامات المعدنية في أماكن حيث تسببت ظروف غير عادية في تركيز بعض العناصر اكثر كثيرا من الحد الطبيعي . ويرى الجدول (٢ - ١) ممدل الجدول (٦ - ١) : تصنيف الخامات المعدنية حسب منشئها

النوع	مثال
مجماتي Magmatic	الماس — جنوب افريقيا (الشكل ٦ - ٢) . كرومايت — الشكل (٦ - ٣) Stillwater, Montana ماجنيثايت — الشكل (٦ - ٤) Adirondack Mountains
بجماتايت Pegmatite	بيريل وليثيوم — الشكل (٦ - ٥)
مائي حراري Hydrothermal	نحاس Butte, Montana
تحول بالتماس	رصاص وفضة — الشكل (٦ - ٩) Leadville, Colorado
رسوبي تبخرات رواسب تير	بوتاسيوم Carlsbad, New Mexico ذهب — الشكل (٦ - ١١) Sierra Nevada foothills, California
تجوية	بوكسايت — الشكل (٦ - ١٢) Arkansas

كميات جميع العناصر في قشرة الارض . فالنحاس على سبيل المثال يتوافر بنسبة ٠.٠٥ ر في المائة ، لكن خام النحاس في الولايات المتحدة يتوافر بنسبة ٨ ر . في المائة . وعليه ، فإن على النحاس أن يتركز على الاقل ١٤٥ مرة أكثر من معدله (في القشرة) حتى يتشكل خام نحاس . وينتج كثير من المناجم أكثر من فلز واحد ، وبهذا تنقص النسبة المئوية لأي عنصر ، التي يجب أن تكون موجودة حتى يصبح الخام اقتصاديا . وعلى أية حال ، فحتى يتشكل خام لفلز ما ، يجب أن يتركز عنصره من عدة الاف الى بضعة الاف من المرات قدر معدل توافره الطبيعي . وسنرى الآن كيف يمكن لهذا أن يتم (انظر (٦ - ١ و (٦ - ٢) .

ويرتبط كثير من المناجم بالصخور النارية وهذا ما سننظر فيه أولا . ولأننا لا نعرف كيف تتشكل الصخور النارية فنحن لا نعلم من أين تأتي المعادن ولا نعرف إلا أنها بعض من الماجما ، والانواع المختلفة من الماجما ، مثل الجرانيت والجابرو لكل منها معادن ترافقه .

الرواسب الماجماتية المبعثرة Disseminated Magmatic Deposits

هي أبسط انواع الخامات الماجماتية . فالمعدن الثمين يكون مبعثرا أو مبعثرا في جميع الكتلة النارية . ففي خامات الماس في جنوب افريقيا ، مثلا يكون الماس مبعثرا في صخر غير عادي شبيه الى حد ما بالبريدوتايت (١) (الشكل (٦ - ٢) . وفي هذا المثال ، فإن المعدن الثمين يبدو فريدا في مثل هذا النوع من الصخر ، وبسبب قيمته الكبيرة فإنه يمكن تعدينه . وفي انواع خامات اخرى ، فإن خام المعدن أو المعادن تتركز ولا تنتشر في الكتلة (النارية) .

الترسيب البلوري Crystal Settling

لقد وصف هذا الموضوع سابقا عند مناقشة تفارق الماجما (الشكلان (٢-٤)

و (٦ - ٣) . تترسب المعادن فالمعادن الثقيلة التي تتبلور أولا ترسب الى قاع الكتلة النارية ولقد تشكلت خامات كرومايت ماجينتايت كثيرة بهذه الطريقة في الغالب في كتل جابرو (يتبلور الماجنايت مبكرا في بعض الظروف ومتأخرة في

جدول (٦ - ٢) : الوجود الجيولوجي لبعض الفلزات

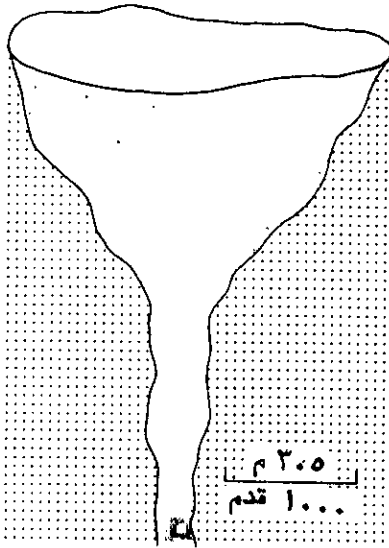
الفلز	معادن الخام الرئيسية	نوع الوجود الاساسي	مثال
الومنيوم	بوكساييت $Al_2O_3 \cdot nH_2O$	تجوية	أركنساس
انتموان	ستينايت Sb_2S_3	مائي حراري	Yellow Pine, Idaho
بريليوم	بيرل $Be_3Al_2Si_6O_{18}$	بجماتايت	Black Hills, S.D.
كاديوم	ناتج جانبي في خامات الزنك	مائي حراري (في السفالارايت)	Missouri (Tri-State Region)
كروم	كرومايت $Fe(Cr,Fe)_2O_4$	ماجمايت	Stillwater, Montana
كوبالت	كوبالتايت سمالتايت $CoAs_3$	مائي حراري	جمهورية الكونغو
نحاس	بورنايت Cu_5FeS_4 انارجايت Cu_3AsS_4 كالكوسايت Cu_2S	مائي حراري	Bingham, Utah Butte, Montana
ذهب	ذهب عنصري Au تلورايدات $AuTe_2$	تبر، مائي حراري	Motherlode, Calif Homestake, S.D.
حديد	هيماتايت Fe_2O_3 ماجنيتايت Fe_3O_4	رسوبي وتجوية	اقليم Lake Superior
رصاص	جالينا PbS	مائي حراري	Missouri (Tri-State Region) Coeur d'Alene, Id

الجدول (٦ - ٢) : الوجود الجيولوجي لبعض الفلزات (تابع)

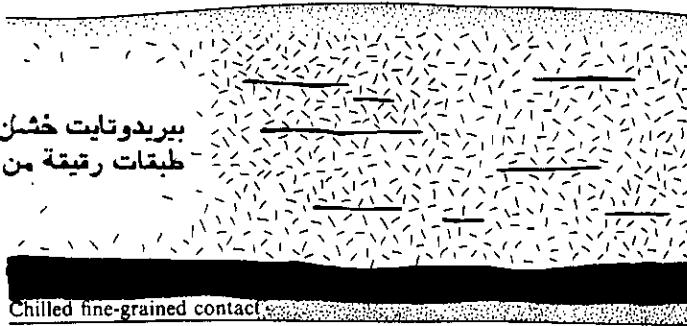
الفلز	معادن الخام الرئيسية	نوع الوجود الاساسي	مثال
مانجنيز	أكاسيد MnO_2	تجوية	Chamberlain, S.D.
زئبق	سنابار HgS	مائي حراري	New Almaden Calif.
موليبدينوم	موليبدينايت MoS_2	مائي حراري	Climax, Colo
نيكل	كبريتيدات NiS	مجماتي	Sudbury, Ontario
بلاتين	بلاتين غنصري Pt	مجماتي	جبال أورال ، روسيا
فضة	كبريتيدات Ag_2S ناتج جانبي في مناجم الزنك والرصاص	مائي حراري	Comstock, Nev Coeur d'Alene, Id.
قصدير	كاستيرايت SnO_2	مائي حراري Placer	الملايو
تيتانيوم	المناتيت $FeTiO_3$ روتايل TiO_2	مجماتي	Adirondack Mtns
تنغستن	شيللايت $CaWO_4$ ولغرامايت $(Fe, Mn)WO_4$	متحول بالتماس	خامات صغيرة في نيغادا وكاليفورنيا
يورانيوم	بتشبلند U_3O_8 يورانيات UO_2 كارنونايت $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$	رسوبي (كارنونايت)	هضاب كولورادو Colorado Plateau
غاناديوم	كارنونايت $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ روسكويلايت $K(V, Al)_2(OH)_2AlSi_3O_{10}$	(كارنونايت) رسوبي	هضبات كولورادو
زنك	سفالارايت ZnS	مائي حراري	Missouri (Tri-State Region)

الشكل (٦ - ٢) : انبوب pipe.

للماس في جنوب افريقيا . والماس متفرق خلال اجسام اسطوانية عمودية تقريبا من صخور نارية عادية مشابهة الى حد لصخر البيردوتيت.



بيردوتايت خشن مع بعض طبقات رقيقة من الكرومايت



سطح تماس ناعم الحبات متبرد بسرعة

الشكل (٦ - ٣) : طبقات من الكروميت Chromite تنشأ عن ترسيب

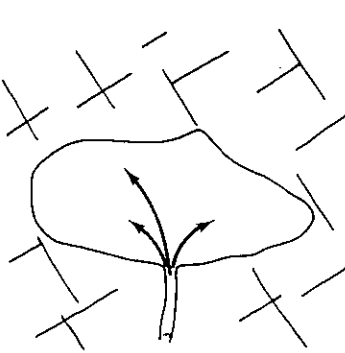
بلورات الكرومايت المتشكلة في وقت مبكرة . الصخر الناري الام هو صخر البيردوتيت دوناتيت اوغابرو.. وفي العادة فان جسم الصخر الناري يبدي شكلا أكثر عدم انتظام مما هو موضح في الشكل .

ظروف أخرى) . وفي بعض الحالات ، يتم انفصال معادن الخام التي تتكون مبكرا وتتأثر بضغط الماجما بعيدا ، تاركة البلورات التي شكلت مبكرا .

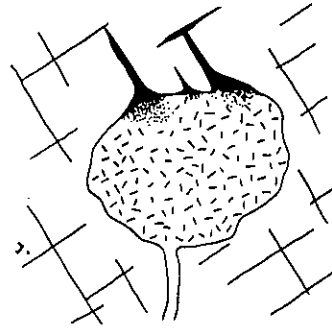
الرواسب الماجماتية المتأخرة

Late Magmatic Deposits

تتشكل هذه الرواسب عندما تكون المكونات المشكلة للخام في الماجما من بين آخر ما يتبلور . ان المادة الفلزية ثقيلة ، وهي تميل لان تتركز في قاع الكتلة النارية وتتبلور هناك وفي الفراغ الموجود بين المعادن المشكلة مبكرا (الشكل (٦ - ٤)) وعندما تتشكل هذه الخامات في المرحلة المتأخرة ، فان الماجما قد تكون غنية بالماء ، كما اشرنا سابقا .



أ - اندفاع الماجما



ب - بعد التطور الجزئي ، فان جسم الماجما ينشوه والسوائل المتأخرة تدفع الى شقوق هديئة التشكل .

الشكل (٦ - ٤) : مثال على تداخل سوائل الماجما المتأخرة . وفي هذه الحالة ، فان للسوائل المتأخرة تنفصل عن بقية الماجما ، وفي حالات أخرى ، فان هذه السوائل يمكن ان تهبط وتتراكم الفراغات بين البلورات المشكلة في وقت مبكر قرب قاع الجسم الناري .

Pegmatite

بجماتايت

وهي كتل تتشكل متأخرة في عملية تبلور الماجما . وقد تكون هذه الصخور ذات الحبات الخشنة جدا على شكل قواطع او عصيات غير منتظمة (الشكل

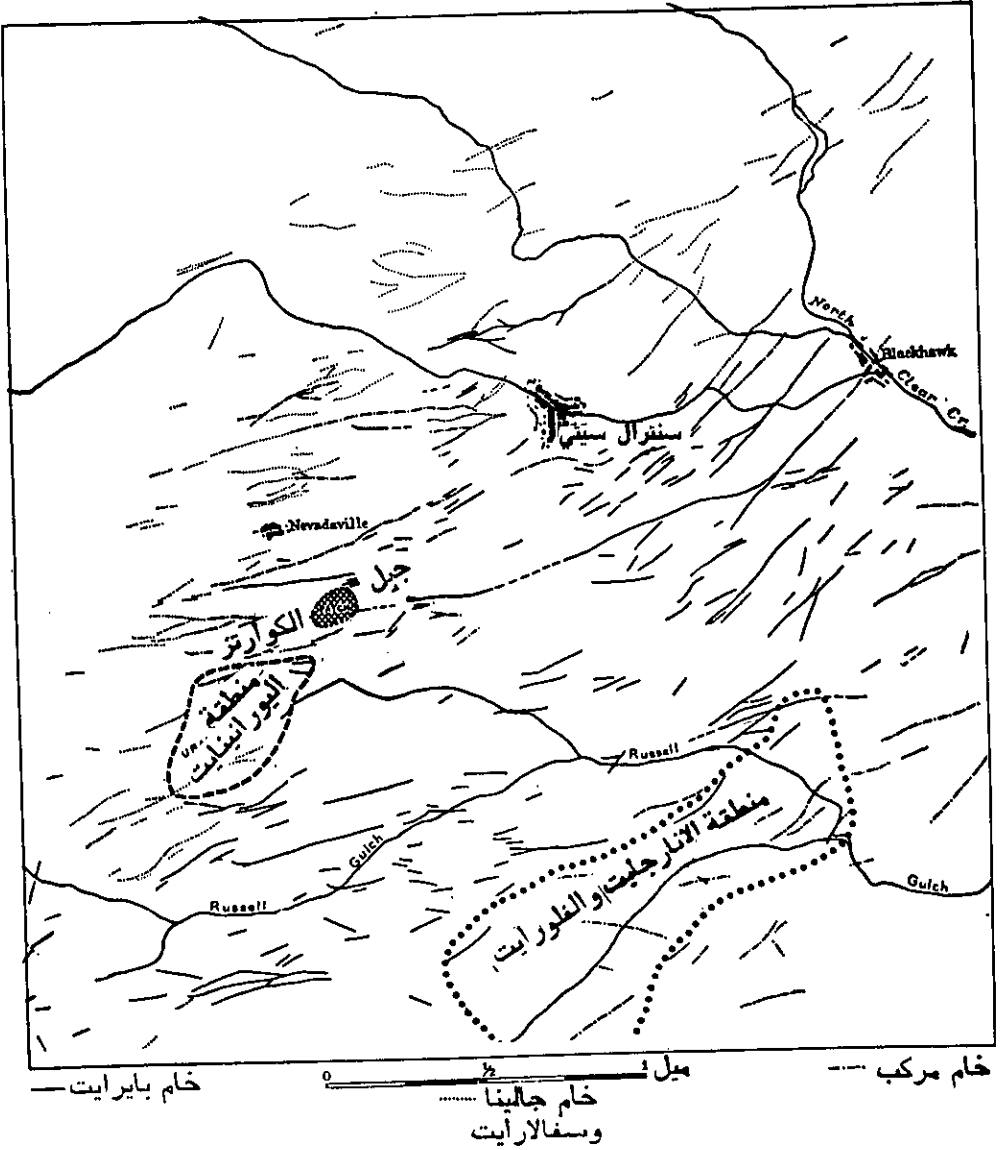
الشكل (٦ - ٥) : مقطع في جسم البجماتيت في انا بمنطقسة
بلاك هل (الجبل الاسود) بولاية داكوتا الجنوبية اما البلورات المضخمة
الموضحة في الشكل فهي من معدن السبديومين وهو معدن من معادن
عنصر الليثيوم وتصل الى حوالي ٧ قدم في طولها .

(٦ - ٥) اما كيفية تشكل البلورات الكبيرة فذلك امر غير معروف ، الا ان الملة
والمحاليل الفنية بالمواد الطيارة لا بد ان تساعد على نمو بلورات كبيرة . وليست
جميع صخور البجماتايت نارية ، لان كثيرا منها قد وجد في اراضي متحولة بعينها
عن أي كتلة نارية . ويبحث عنها بسبب بلورات المايكا الكبيرة التي تستعمل
في الصناعة ، ومن اجل بلورات الفلسبار والكوارتز والجواهر . وهي ايضا
المصدر الرئيسي الكولبيوم والتانتاليوم وعناصر من الارض النادرة والبيريسل
(معدن البيريليوم الرئيسي) والليثيوم . وتوجد معادن اخرى كثيرة في البجماتايت ،
من ضمنها بعض الكبريتيدات مرتفعة الحرارة الامر الذي يدل (على الاقل من
حيث المبدأ) على أن البجماتايت يمكن أن تتدرج الى خامات مائية حرارية مرتفعة
الحرارة .

Hydrothermal,

الترسبات المائية الحرارية

او خامات المياه الحارة ، وهي اكثر انواع خامات الفلز شيوعا . ولقد رأينا
سابقا أنه يمكن أن يكون اصلها من سوائل الماجما المتأخرة . وهي تتدرج من
خامات مرتفعة الحرارة مع المعادن التي تشكل البجماتايت الى خامات منخفضة
الحرارة . وتحتوي المياه الحارة النموذجية على معادن الكبريتيد مثل البايرايت،
والكالكوبايرايت والجالينا في عروق الكوارتز (الاشكال (٦ - ٦) و (٦ - ٧)
و (٦ - ٨)) . وهي عادة ترافق الباثوليت ، وتكون العروق في الباثوليت



الشكل (٦ - ٦) : تري الخريطة المروقة قرب مدينة سنترال سيتي بولاية كولورادو وتلا المروقة المائية الحرارية بشكل عام فتحات الصخور مثل الفواثق والتواصل . مأخوذة عن : المساحة الجيولوجية الأمريكية .

والصخور المحيطة . وعلى كل حال ، فإن كثيرا من الخامات المائية الحرارية لا يوجد بقربه صخور نارية منكشفة ، ومن ثم فإن أصل المحاليل المرسبة ليس معروفا . وفي مثل هذه الحالات ، قد تكون الخامات ترسبت بواسطة المياه الجوفية ، كما ذكر مؤخرا عند الكلام عن القوة الجيولوجية الحرارية . ومن ضمن الأمثلة على الخامات المائية الحرارية ، النحاس في منطقة بيوت فسي



الشكل (٦ - ٧) :
التمدين تحت الأرض
(انفاق) في مناجم كيبي
بمنطقة بيوت بولاية
مونتانا . بعض المروق
المحفورة في الصخور
الغرانيتية يمكن أن
ترى . الصورة من :

Anaconda Co.



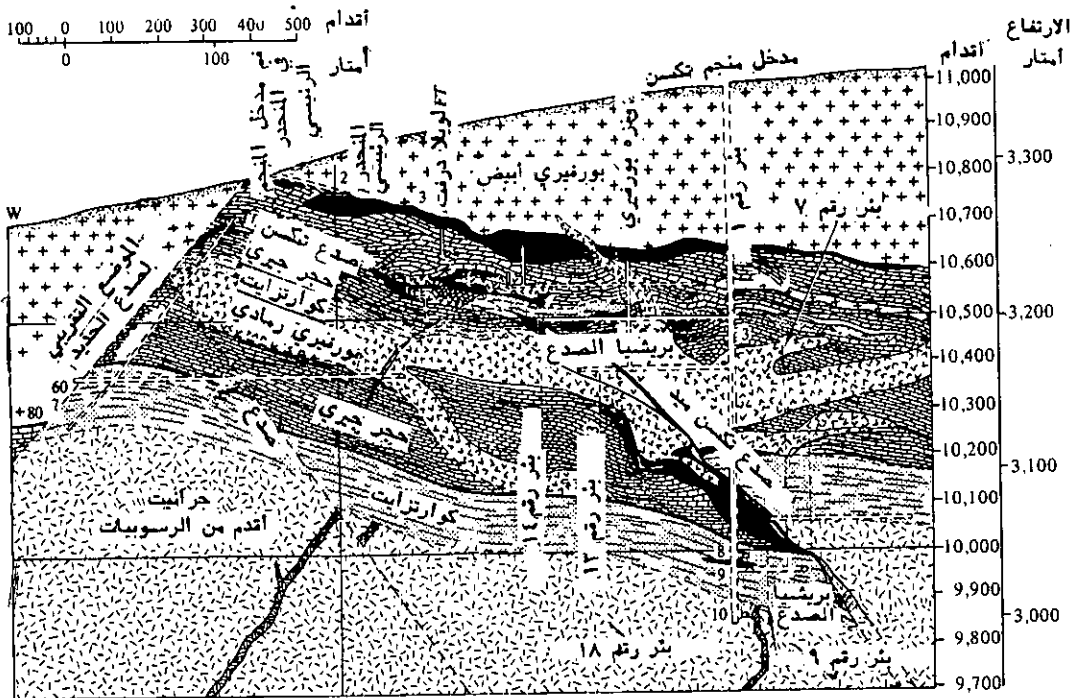
الشكل (٦ - ٨) : نظرة علوية على منجم الحفرة المفتوحة في تشوكيكامانا في تشيلي .
والمرق هنا رفيعة لدرجة لا يمكن تعدينها بالانفاق من تحت الأرض . معدل الخام ١/٣ .
نحاس ، ولا بد من إزالة ١٤٢ طن من النحاس والصخور غير النافعة من فوق الخام قبل أن
تحصل على طن واحد من خام النحاس وجسم الخام متدني الدرجة هذا وما زال ينتج منذ ٥٠

عاما . الصورة من Anaconda Co.

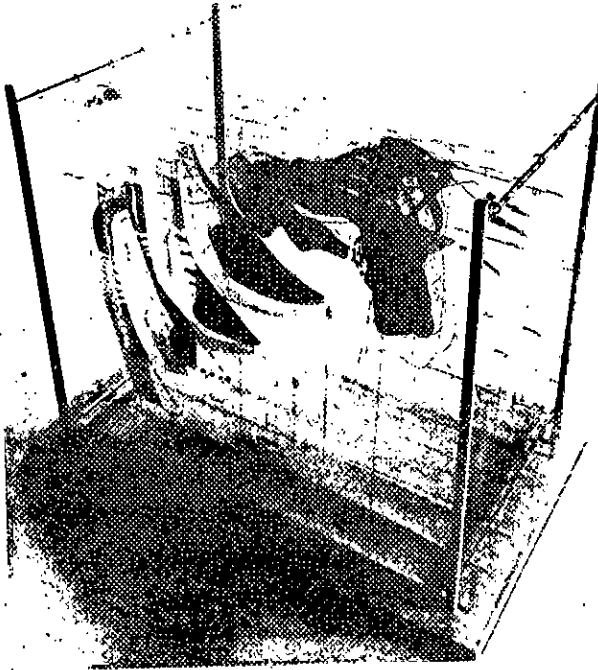
مونتانا والفضة في منطقة كومستك بولاية نيفادا والرصاص والزنك في ميسوري والذهب في منطقة مذرلود في كاليفورنيا .

خامات متحولة بالتماس Contact - Metamorphic Deposits

تتشكل في منطقة التحول على اطراف الكتلة الجوفية . وتتفاعل المحاليل الفارة (٢) من الماجما مع جدار الصخور وتستبدل به المعادن الخام . وتوجد هذه الخامات بشكل عام في الحجر الجيري بالقرب من الكتل الجوفية لان الحجر الجيري ، بشكل خاص ، يتفاعل مع المحاليل (الشكل ٦ - ٩) . وتحتوي



الشكل (٦ - ٩) : مقطع في جزر من مقاطعة ليدفيل بولاية كولورادو . معظم اجسام الخام حلت على حساب الحجر الجيري ، ويعتقد انها نشأت من صخر المبورفير . هناك بعض الفروق ، وتوضح اجسام الخام على طول الفوالق ان هذه الاخرة قد عملت كمبر لسوائل الخام . اما شكل خام الاحلال فهي عادة معقدة . انظر الشكل (١٠ - ٦) . الصورة من Anaconda Co.



الشكل (٦ - ١) :
نموذج للنجم ، وقد عمل
بتصوير مقاطع متعاقبة
على مادة شفافة .
ويمكن دراسة الاشكال
المعقدة للخامات بهذه
الطريقة . الصورة من :
Anaconda Co

كثير من الخامات التي وجدت بهذه الطريقة على معادن الكبريتيد مرتفعة الحرارة وهي تشبه بتلك الخامات المائية الحرارية المرتفعة الحرارة . وقد تشكلت بعض خامات الحديد بهذه الطريقة وبعض منها كبير الحجم كما في منطقة ايرون سبوتلنز في ولاية يوتا والعمليات الرسوبية قد ينجم عنها تركيز عناصر قيمة .

Evaporites

التبخريات او الرسوبيات الكيماوية

مثل طبقات الملح ، وخصوصا تلك التي تحوي املاح البوتاسيوم التي يجري البحث عنها بنشاط . ويأتي مثل هذه الطبقات من تبخر مياه البحر او بحيرة ملح . ولان ماء البحر يحتوي فقط على ٣٥ في المائة مادة ذائبة (هي غالبا الملح المعادي) ، فانه يجب ان تتبخر عدة الاف من الاقدام من ماء البحر لينتج ١٠٠ قدم من الملح غير ان كثيرا من خامات الملح اُسْمَك كثيرا من ذلك . وليس من المعقول ان نفترض ان احواضا يبلغ عمقها عشرات الالاف من الاقدام قد تبخرت لتشكل هذه الخامات . ان هناك نظرية اقرب الى العقل وهي ان التبخر قد حصل في خلجان ضحلة مسدودة جزئيا بسدود رملية ، وان المحاليل المركزة من الملح كانت تتجدد فيها ليدفعها البحر من فوق هذه السدود الرملية ، ربما خلال العواصف . ان كيميائ هذه المحاليل المالحة معقدة ، لكن الترتيب العام في الترسيب هو كربونات

الكالسيوم والمغنيسيوم فالجبص ، فالملح (هاليت) وفي الختام املاح البوتاسيوم والبروم . وتعدن طبقات الملح في منطقة حوض قديم في ميشغان ، وأوهايو ونيويورك . اما املاح البوتاسيوم فتعدن قرب كارلسباد في نيومكسيكو . وفي اوقات وامكان اخرى في الماضي الجيولوجي ، وعموماً في احواض محصورة ، حصلت رسوبيات الصخور والصخور الغنية بالحديد . ان خامات الفوسفات في ايداهو وايومنغ ومونتانا قد تشكلت في مثل هذا البحر المحصور . وسنتكلم عن كثير من هذه الخامات في الفصل الحادي والعشرين .

Placer Deposits

رواسب التبر

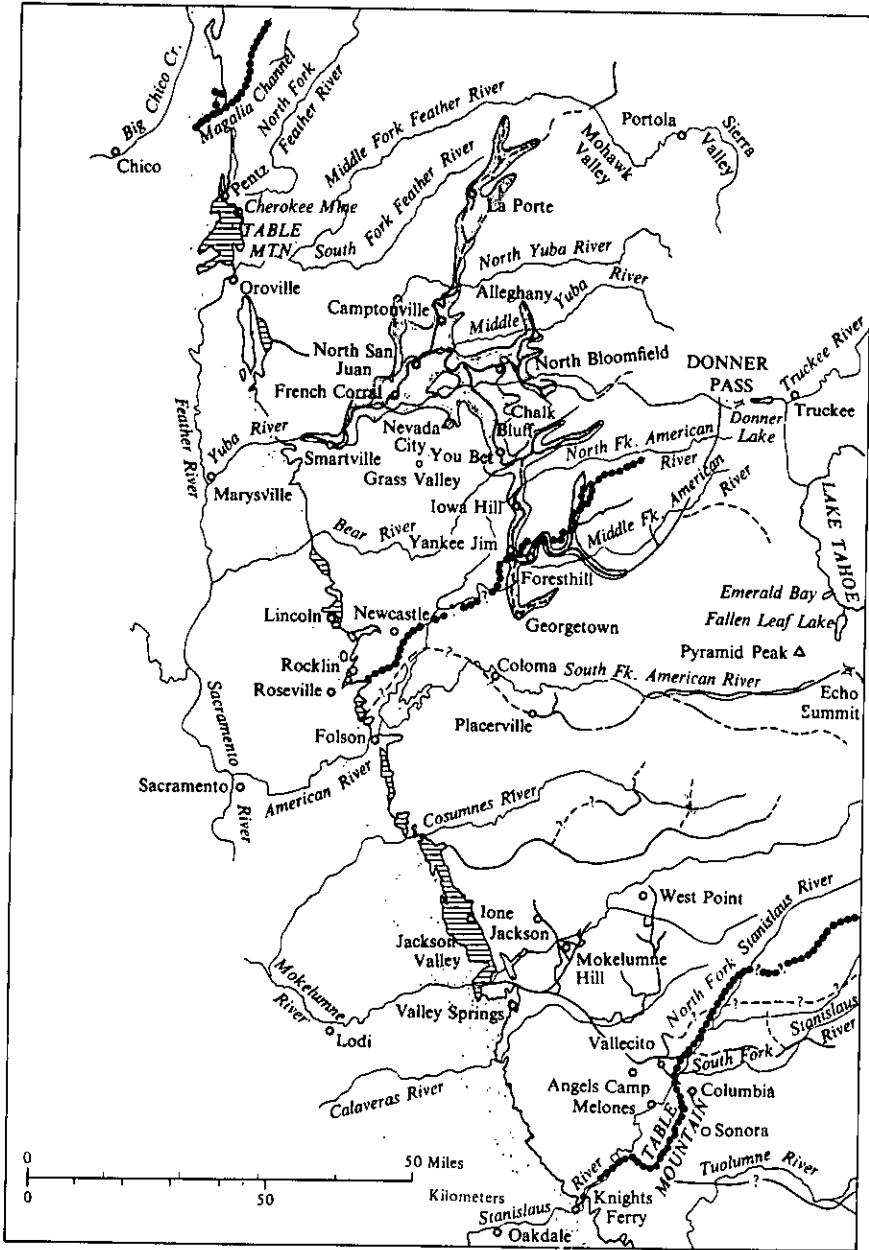
تنشأ من تركيز حبات المعادن الثقيلة بالانهار . ان حبة المعدن الثقيل (او بعبارة ادى الاكثر كثافة) تتحرك بحرية اقل من الحبة الاخف التي هي بنفس الحجم . ولهذا السبب ، فان النهر يميل لان يفصل او يفرز حملته . فتنسحب الحبات الثقيلة اولا وتميل لان تتركز في داخل المنحنيات وفي اماكن قليلة الانحدار وما شابه ذلك وستبحث هذه العمليات ، في الفصل الثامن .

ويجب ان تكون المعادن المتركة بهذه الطريقة كثيفة ومقاومة للتجوية . وتتضمن الامثلة الذهب ، والماس والبلاتين . ولقد كانت رواسب الذهب مهمة جدا عند افتتاح (غرب الولايات المتحدة) وخاصة كاليفورنيا في عام ١٨٤٩ (الشكل (٦ - ١١)) . ان رواسب التبر هي خامات الرمل الفقير ، لانه لا يلزم الا ادوات قليلة جدا للبحث عنها واستغلالها . ان هذه الثروة السهلة هي التي بدأت الحركة نحو الغرب . والامواج قد تنتج هذه الرواسب ، فقد تعدن رسال البلاجات في بعض المناطق فتعطي ثروة من المعادن الثقيلة .

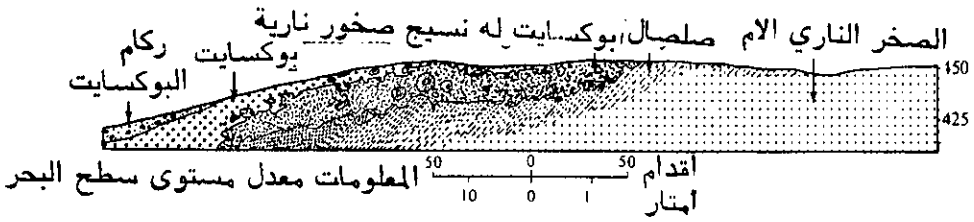
Weathering Processes

عمليات التجوية

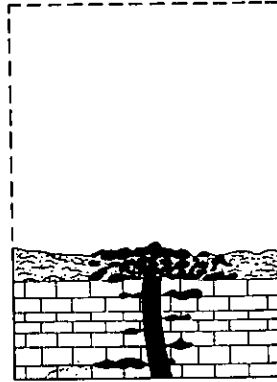
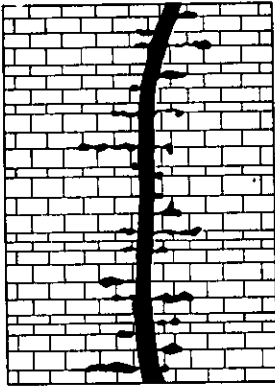
تساهم ايضا في الثروة المعدنية . والتربة هي بالتأكيد اكثر موادنا المعدنية قيمة . وبالإضافة ، فان بعض انواع التربة المدارية (٢) تعدن من اجل الالومنيوم (بوكسايت) والحديد وعناصر اخرى ، كما وصف سابقا (الشكل (٦ - ١٢)) . وعمليات التجوية نشطة ايضا في كشف خامات المعادن . ان اثرها على كثير



الشكل (٦ - ١١) : خريطة توضح أماكن توضحات رواسب الذهب النهرية السطحية
 placer في سفوح جبال سيرا نيفادا بولاية كاليفورنيا . أن الأنهار القديمة التي رسبت هذه
 التوضعات كانت في أماكن تختلف عن الأنهار الحالية . وتري الخطوط الثقيلة مجرى النهر
 القديم بينما الخطوط المنقطة تري النهر الحديث . ولقد صبت هذه الأنهار في بحر موضح
 بالمنطقة المخططة .



الشكل (٦ - ١٢) : مقطع في منجم بوكسلت في بردون بولاية اكنساس . وينتج البوكسايت من تجويف الصخور النارية الغنية بالالومنيوم .



الشكل (٦ - ١٣) : التركيز المتبقي Residual concentration باذابة الحجر الجيري الذي يضم الخام. ولا بد أن يكون الخام غير قابل للذوبان بهذه الطريقة .

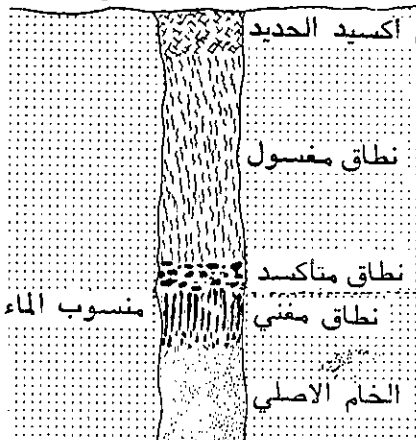
من الخامات كبير ، واذا لم يفهم فانه قد يضل كثيرا . فاذا كان الخام او نواتج تجويته غير قابلة للذوبان ، فان الخام سيزداد بالتجوية الا اذا ازيلت المادة المجاورة بالحت . وهذا يصح بشكل خاص على خامات المعادن في الصخور القابلة للذوبان كالحجر الجيري (الشكل (٦ - ١٣)) . ولكن هذا النوع من الترسيب قد خدع كثيرا من المنقبين والممولين الذين ظنوا انهم قد حصلوا على منجم جيد على اساس معلومات قرب السطح ، فعندما عملت في الخام حفرة وجدوا ان الخام ذو درجة منخفضة تجعله غير اقتصادي .

ان رواسب الذهب ، والفضة ، والرخاس ، والنحاس ، والزئبق التي هي من هذا النوع شائعة جدا . وقد تكون عمليات التجوية معقدة جدا في خامات الكبريتيد فتتأكسد هذه الخامات وتصبح كبريتات قابلة للذوبان . ويتجوى

البيراييت (وهو موجود معها في معظم الحالات تقريبا) الى حمض الكبريتيك وكبريتات حديد ذائبة ، وكلاهما يساعد في اذابة معادن كبريتيد اخرى . فتذاب كبريتيدات الحديد والفضة والنحاس بهذه الطريقة . اما الكبريتات الذائبة فتسيل ببطء الى اسفل ، مغنية الجزء السفلى من الخام . وتوجد منطقة الاغناء الكبرى على منسوب الماء ^(٤) وتختلف البيئة الكيماوية هنا ، لا سيما في انعدام الاكسجين فيها ، ويحدث الترسيب على شكل كبريتيدات . ومرة اخرى ، فان المنقب الذكي يجب ان لا يخدع بما يظهر قرب السطح الا اذا كانت بنفسها غنية وكبيرة بما يكفي لان تعدن .

والمنقب تساعده تجوية خامات المعادن . فان اكسدة البيراييت الموجود دائما تترك بقية سطحية من اكاسيد الحديد وخصوصا الهيماتايت والليمونايت . وهذه القبعات الحمراء البنية تنم عن عروق كبريتيد ، ومن ثم فانها الهدف الاولي للمنقب (الشكل (٦ - ١٤)) .

سطح الارض



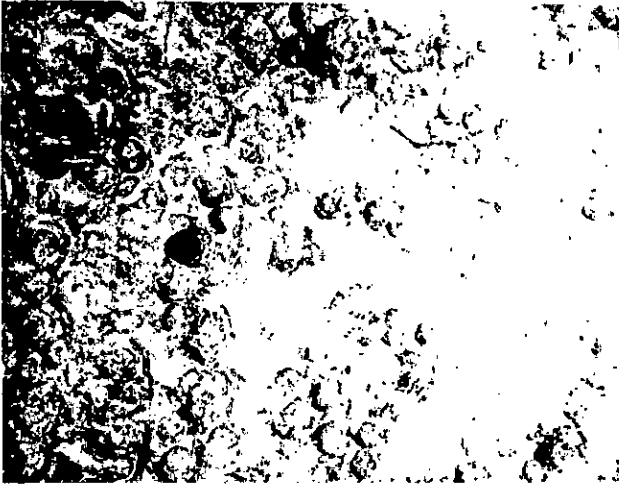
الشكل (٦ - ١٤) : تجويه خام عرى من الكبريتيد . مياه الامطار التي تهبط الى مستوى الماء في المنطقة ، تقوم بغسل الفلزات من العرق وتعيد ترسيبه قرب مستوى الماء ، حيث يغني تلك المنطقة . ويساعد غطاء اكاسيد الحديد الحمراء على جذب انتباه الباحثين عن الخام .

Deep ocean deposits

رواسب اعماق المحيط

جذبت هذه الاهتمام مؤخرا . لقد كشفت صور الاعماق وعينات الجرف أن أجزاء من قاع المحيط الهادى مغطاة بعنيدات المنجنيز (هـ) (الشكل (٦ - ١٥)) ولقد تشكلت هذه الصخور الهامة بترسب المنجنيز والحديد الذائبين في ماء

البحر على حبات الرمل أو الحصى في قاع المحيط . ان عملية الترسيب بطيئة جدا ، لدرجة ان ترسب طبقة سمكها ١ ملم تحتاج من ١٠٠٠ الى ١٠٠٠٠ سنة . ويحدث الترسيب على شكل اكاسيد وهيدروكسيدات . ومعدل تركيب هذه المعقيدات حوالي : ٢٤٪ منجنيز و ١٤٪ حديد مع كميات صغيرة من النيكل والكوبالت والنحاس وعناصر اخرى . ويحوي بعضها ٢٪ او اكثر من النحاس والنيكل والكوبالت . وتأتي هذه العناصر من التجوية الكيماوية للتارات ولغسل البازلت تحت البحر ومن المياه المرافقة للفعالية البركانية . وتشكل هذه المعقيدات موردا قيما جدا بسبب المساحات الواسعة التي توجد فيها ، ولقد طورت تقنية تعدينها .



الشكل (٦ - ١٥) :
عقد المنجنيز على قاع
المحيط الاطلسي .

موارد الطاقة

Energy resources

ان مصادر الطاقة الرئيسية هي الفحم والبتروول . ومن غير شك فان الطاقة الذرية والنووية ستعلو على الوقود المعدني في المستقبل . اما طاقة الحرارة الارضية فقد انتجت الان وستكون اكثر اهمية في المستقبل . يدعى البتروول والفحم في بعض الاحيان الوقود المستحاثات (٦) لانهما ينشآن مما

كان مرة مادة حية . ويأتي الفحم من المادة النباتية . وحتى يتشكل الفحم ، لا بد من تراكم المادة النباتية ، غير انه في معظم الظروف ، حتى مع نمو الغطاء النباتي الزائد كما هو الحال في غابات الامطار المدارية ، فان المادة النباتية لا تتجمع . وبدلا من ذلك فانها تتعفن وتهاجمها البكتيريا بمجرد سقوطها . ويبدو أن معظم طبقات الفحم قد تطورت في المستنقعات حيث أنه بمجرد أن تقع الأشجار فانها تصبح مشبعة بالماء وتغرق الى القاع وتمتنع من الفساد أو تكاد ، خصوصا إذا كانت المياه راكدة كما هي الحالة في كثير من المستنقعات — وتصبح المادة النباتية في قاع مثل هذا المستنقع قطعة متحجرة تتحول الى فحم ، بسبب التراص الناتج من وزن الرسوبيات التي تعلوها . والمرحلة الاولى لهذا تنتج اللجنيت (٧) ، وبزيادة الضغط ينتج الفحم البتوميني (٨) ، وأخيرا ، وفي حالات نادرة الانثراسيت (٩) (الشكل (٦ - ١٦)) . وينضغط النبات المتحجر في هذه العملية الى اقل من ٢٥/١ من سمكه الاصلي . ولا بد أن يكون تراكم الرسوبيات الاخرى في نفس المستنقع قليلا جدا حتى ينتج فحم نقي الى حد معقول .

ويأتي البترول ايضا من المادة العضوية ، غير أن العملية ليست بوضوح الفحم . يأتي الغاز والبترول من الرسوبيات البحرية والفضار القائم الفئسي بالمادة العضوية هو مصدر محتمل لذلك . وتتراكم مثل هذه الرسوبيات الان في البحر الاسود حيث تحوي رسوبيات القاع حتى ٣٥٪ من المادة العضوية بالمقارنة مع ٢٥٪ في الرسوبيات البحرية العادية . وتتأكد المادة العضوية في الرسوبيات العادية ، لكنها يمكن أن تتراكم عند قاع المياه الراكدة . والوضع مشابه جدا لتشكل الفحم . وكما هو في حالة الفحم ، يظهر أنه لا بد من دفن عميق وبعض الحرارة ووقت زائد لانتاج الغاز والبترول . وبعد أن يتشكل فانه لا بد للبترول من أن يهاجر الى صخر ذي نفاذية الى أن يستخرج . وسوف نبحث في خزانات الغاز والبترول ومصادنها في الفصل الثاني عشر بصدد البحث في المياه الجوفية . ولا يتشكل كل البترول في الصخور البحرية . فلقد تشكل الفضار الزنكي في منطقة جبال روكي (التي تحوي نسبة مئوية كبيرة من احتياطي بترول الولايات المتحدة من بحيرات ماء عذب . ربما بنفس الطريقة .



لجنايت



قلم
سريع الاشتعال : (cannel)



كوك



قلم (بيت)



مناطق القلم في الولايات المتحدة



قلم بنوميني قطعي (splint)



قلم المستنقعات



قلم
نامع بنوميني



انتراسايت

ان العنصرين المفيدين في انتاج الطاقة الذرية هما اليورانيوم والتوربيوم ويوجد التوربيوم بشكل رئيسي في العروق المائية الحرارية المنشأ . أما اليورانيوم فانه يوجد في العروق المائية الحرارية المنشأ والجماتيت وبعض الصخور الرسوبية .

ان الطاقة الحرارية الارضية (١٠) حديثة نسبيا في الولايات المتحدة لكنها قد استعملت في ايطاليا منذ بضع سنوات خلت . وهي اساسا وببساطة استعمال البخار المنطلق من الارض لتوليد الطاقة . ان الينابيع والنوافير الحارة شائعة، غير ان البخار لا ينطلق من الارض الا في بضع مناطق . ويمكن الحصول على البخار او المياه شديدة الحرارة بالحفر في المنطقة الحرارية المعروفة باسم يلوستون ناشيونال بارك في الولايات المتحدة . ولقد ولدت الطاقة الكهربائية بهذه الطريقة في منطقة النوافير في شمال وسط كاليفورنيا . (الشكل (٦ - ١٧)) . والمياه التي تنطلق من هذه المناطق الحارة هي في معظمها مياه امطار ويحتمل انها سخنت بتلامسها مع ماجما تتبرر . ولقد اوضحت دراسات النظائر ان قليلا جدا



الشكل (٦ - ١٧) : بخار ارضي حراري
Geothermal steam خارجا من جدار
منطقة غيررز بولاية كاليفورنيا .

من الماء هو ماء أولي من ماجبا . وفي معظم المناطق ، فان هذه المياه الحارة تحوي كثيرا من المادة الذائبة ، وهذه الحقيقة هي ميزة بمقدار ما هي مشكلة كبرى . وبعد استعمال الماء لتوليد الطاقة ، فان المياه يمكن أن تبخر بالطاقة الشمسية لاستخلاص بعض الاملاح . وهذا كسب واضح . اما المشاكل فهي ابعاد هذه المياه الخام المستغلة جزئيا التي تعمل على حملها في الانابيب تأكلا وترسيبا . ومن المفيد ان نلاحظ ان هذه المياه تحوي في بعض الاماكن كميات لا بأس بها من الفلزات كالرصاص ، والنحاس ، والحديد . ومن ثم فان هذه المياه يمكن ان تشبه كثيرا المحاليل المائية الحرارية التي تشكل مادة العروق . وبمقدار ما نتعلم المزيد عن مثل هذه المياه الساخنة وكيفية السيطرة عليها ، بمقدار ما يمكن أن تصبح مصدرا هاما للطاقة . وكما سوف يبحث لاحقا فاننا نعلم أن باطن الارض ساخنة ، وربما يأتي يوم في المستقبل نستعمل فيه ثقباً عميقة لنحصل على الحرارة لتولد منها الطاقة .

اسئلة

- ٦ - ١ ما اوجه الشبه والفروق بين الموارد المعدنية والانواع الاخرى من الموارد الطبيعية .
- ٦ - ٢ ما انواع الخامات المعدنية التي ترافق مباشرة الصخور النارية ؟ هل يمكن ان يوجد بعض منها في الصخور الرسوبية او المتحولة ؟
- ٦ - ٣ هل مجرمة الذهب ما زالت اداة نافعة للمنقب الحديث ؟
- ٦ - ٤ ما انواع الخامات المعدنية المرافقة مباشرة للصخور الرسوبية ؟
- ٦ - ٥ ما اجزاء الارض التي لم يجر البحث عن الموارد المعدنية فيها ؟
- ٦ - ٦ سم خاما للرصاص
الزنك
الحديد
التحاس

مراجع اضافية

- Axtmann, R. C., "Environmental Impact of a Geothermal Power Plant," *Science* (March 7, 1975), Vol. 187, No. 4179, pp. 795-803.
- Bachmann, H. G., "The Origin of Ores," *Scientific American* (June, 1960), Vol. 202, No. 6, pp. 146-156.
- Barnea, Joseph, "Geothermal Power," *Scientific American* (January, 1972), Vol. 226, No. 1, pp. 70-77.
- Brobst, D. A., W. P. Pratt, and V. E. McKelvey, *Summary of United States Mineral Resources*. U. S. Geological Survey Circular 682, Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1973, 19 pp.
- Brown, T. L., *Energy and the Environment*. Columbus, Ohio: Charles E. Merrill Publishing Co., Inc., 1971, 141 pp. (paperback).
- Cameron, E. N. (editor), *The Mineral Position of the United States 1975-2000*. Madison, Wis.: The University of Wisconsin Press, 1973, 100 pp. (paperback).
- Committee on Geological Sciences, National Research Council, National Academy of Sciences, *The Earth and Human Affairs*. San Francisco: Canfield Press, 1972, 138 pp. (paperback).
- Committee on Resources and Man, National Academy of Science, National Research Council, *Resources and Man*. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1969, 259 pp. (paperback).
- Degens, E. T., and D. A. Ross, "The Red Sea Hot Brines," *Scientific American* (April, 1970), Vol. 222, No. 4, pp. 32-42.
- De Nevers, Noel, "Tar Sands and Oil Shales," *Scientific American* (February, 1966), Vol. 211, No. 2, pp. 21-29.
- Flawn, P. T., *Mineral Resources: Geology, Engineering, Economics, Politics, Law*. Chicago: Rand McNally, 1966, 406 pp.
- Hibbard, W. R., Jr., "Mineral Resources: Challenge or Threat?," *Science* (April 12, 1968), Vol. 160, No. 3824, pp. 143-149.
- Hubbert, M. K., "The Energy Resources of the Earth," *Scientific American* (September, 1971), Vol. 224, No. 3, pp. 60-70.
- Keyfitz, Nathan, "World Resources and the Middle Class," *Scientific American* (July, 1976), Vol. 235, No. 1, pp. 28-35.
- Lang, A. H., *Prospecting in Canada*, 4th ed. Canada Dept. Mines and Technology Survey, Geological Survey of

- Canada, Economic Geology Series No. 7, 1969, 308 pp.
- McKelvey, V. E., "Mineral Resource Estimates and Public Policy," *American Scientist* (January-February, 1972). Vol. 60, No. 1, pp. 32-40.
- Park, C. F., Jr., *Earthbound: Minerals, Energy, and Man's Future*. San Francisco: Freeman, Cooper and Co., 1975, 279 pp.
- Scientific American* (September, 1971), Vol. 224, No. 3. Entire issue devoted to energy.
- Skinner, B. J., *Earth Resources*, 2nd ed. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1976, 152 pp. (paperback).
- Theobald, P. K., S. P. Schweinfurth, and D. C. Duncan, *Energy Resources of the United States*. U.S. Geological Survey Circular 650, Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1972, 27 pp.
- U. S. Bureau of Mines, *Minerals Yearbook*. Washington, D. C.: U.S. Government Printing Office, published annually.
- Wenk, Edward, Jr., "The Physical Resources of the Ocean," *Scientific American* (September, 1969), Vol. 221, No. 3, pp. 167-176.

الجزء الثاني الحركات الخارجية الحت

THE EXTERNAL PROCESSES —EROSION

يطلق على بضعة الاميال الخارجية من الارض اسم القشرة . وسوف نقوم بتعريف هذا المصطلح فيما بعد . ومع أن القشرة تعتبر الجزء الوحيد من الارض المعرض للمشاهدة المباشرة فان دراسة الارض بالاعتماد على الرؤيا المباشرة للقشرة تشبه من يحاول معرفة مضمون كتاب من غلافه . ان المشكلة في واقع الحال اكبر من ذلك بكثير لان ٧١٪ من سطح الارض مغطى بالمحيطات .

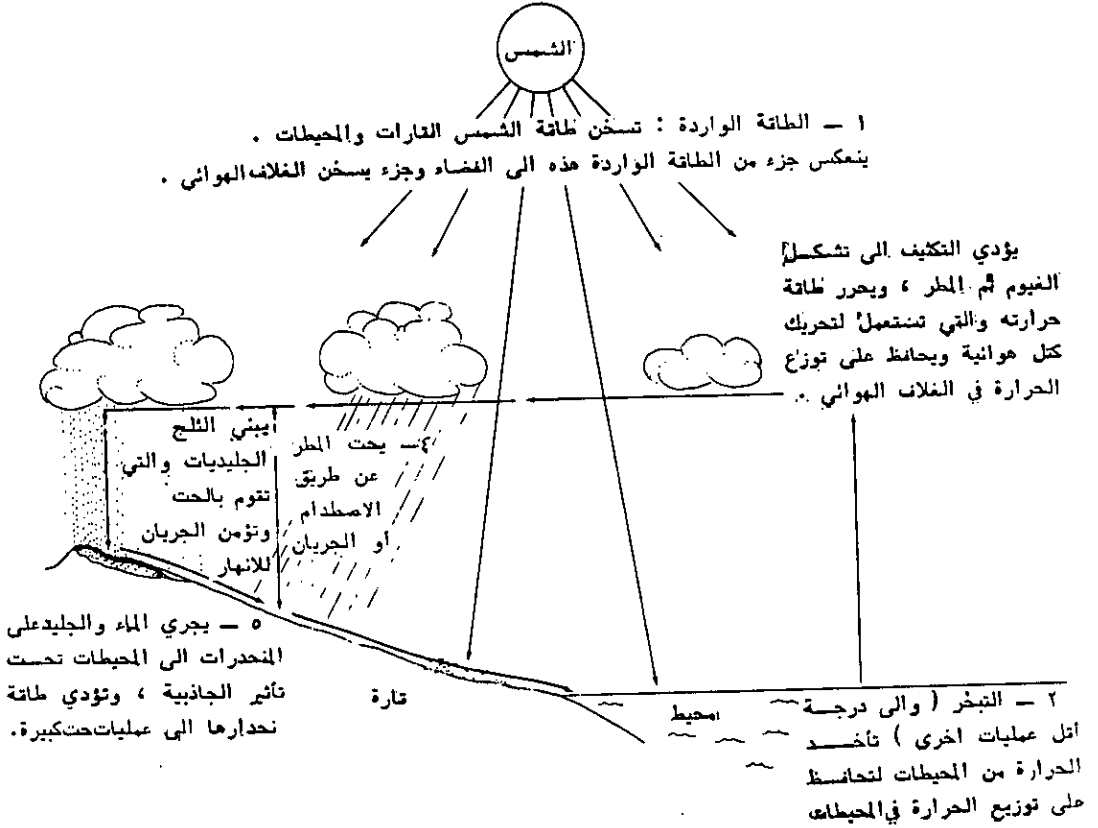
لقد تطورت الجيولوجيا التقليدية نتيجة لملاحظات أخذت عن القارات . واحدى الافكار الاساسية أو القوانين التي نشأت هي مبدأ النسقية والذي يقول بأن الحاضر هو مفتاح للماضي . اي بمعنى أن أي تركيب في الصخور القديمة لا بد وأن يكون قد نشأ نتيجة عمليات تشبه تلك التي تحدث الان . ونحن الان نتقبل هذه الفكرة بسهولة بالغة الا أن هذا لم يكن كذلك دائما . فعندما ننظر حولنا نرى كيف تتم عملية الحت ، ونرى كيف تحمل الانهار المواد ناقلة اياها ، ونستنتج من ذلك بأن الانهار هي التي تحت مجاريها التي تستعملها بنفسها . وحتى زمن ليس بعيدا كان الجيولوجيون يعتقدون بأن الاودية السحيقة انما نتجت عن زلازل عظيمة شقت الارض وجعلتها مفتوحة ، مما جعل الانهار تجري اليها ، وذلك لسبب بسيط هو أنها تمثل مناطق أكثر انخفاضاً . وهذه النظرية تدعى بنظرية الخسف . وفي الصفحات القادمة سوف نعرض أدلة أكثر على مبدأ النسقية .

ان العملية الرئيسية التي تحدث الان على سطح الارض هي بالتاكيد عملية الحت ، وخير الامثلة عليها هو وجود الاخاديد وحدوث الانزلاقات وما شابهه ذلك . وتقوم الانهار التي هي اهم عناصر التعرية والحت على الاطلاق بالحت المستمر للقارات، ولكننا مع ذلك نجد جبالا في الطبيعة . ولو اخذنا النسبة الحالية للتعرية لوجدنا انه يلزمننا ١٢ مليون سنة من اجل تسوية الطبوغرافيا الحالية . غير اننا نعلم ان عمليات الحت والترسيب بدأت منذ بضعة مليارات من السنوات فلا بد اذا من حدوث انقطاع في عمل الانهار وارتفاع في القارات . ولهذا تهتم الجيولوجيا الى حد كبير بالصراع القائم بين القوى الخارجية الخاصة بالحت والتعرية وتلك الخاصة بالقوى الداخلية والتي تؤدي الى الرفع .

ان السبب الخفي للحت هو الحركات على المنحدرات بفعل الجاذبية ، والعناصر التي تسبب مثل هذه الحركات هي المياه (الانهار وغيرها) والجليد والرياح . وتعتبر عمليات التعرية التي ناقشناها سابقا مصدرا للمواد التي تنتقل بهذه الوسائل .

وتعتبر الطاقة الشمسية المصدر الرئيسي للطاقة اللازمة للحت كما يبين الشكل المثبت ادناه . ويظهر هذا الرسم كيف يصبح الحت نتيجة حتمية لتوزيع الاشعة الشمسية حول الارض . وبدون هذا التوزيع للطاقة بواسطة المحيطات والغلاف الجوي تصبح مناطق خط الاستواء اكثر سخونة والقطبين اكثر برودة لان معظم الطاقة الشمسية تسقط على خط الاستواء .

وتتمثل بعض مظاهر القوى الداخلية التي تسبب الرفع في وجود الزلازل والبراكين والصخور الرسوبية الملتوية والمائلة ، والتي تقع حاليا في الجبال ، بينما كانت قد تكونت سابقا في طبقات مسطحة على او دون مستوى سطح البحر . وهذا ما سيكون موضوع الجزء الثالث . وما الجيولوجيا الفيزيائية والديناميكية الا عبارة عن دراسة ذلك الصراع القائم بين قوى الرفع الداخلية وقوى الحت الخارجية . ومع اننا سوف ندرس هذه القوى منفصلة عن بعضها لتجنب الالتباس ، فانه علينا ان نتذكر بأنها تحدث جنبا الى جنب .



الشكل (١-٢) : توازن الدورة المائية والطاقة الأرضية .

تنتشر الطاقة الآتية من الشمس على الأرض بسبب وجود التيارات في المحيطات والغلاف الجوي . وتشكل الدائرة المائية جزءاً من تبادل الطاقة القائم بين المحيطات والغلاف الجوي ، وهذا يعتبر المصدر الرئيسي للطاقة المستهلكة في غالبية عمليات التعرية .

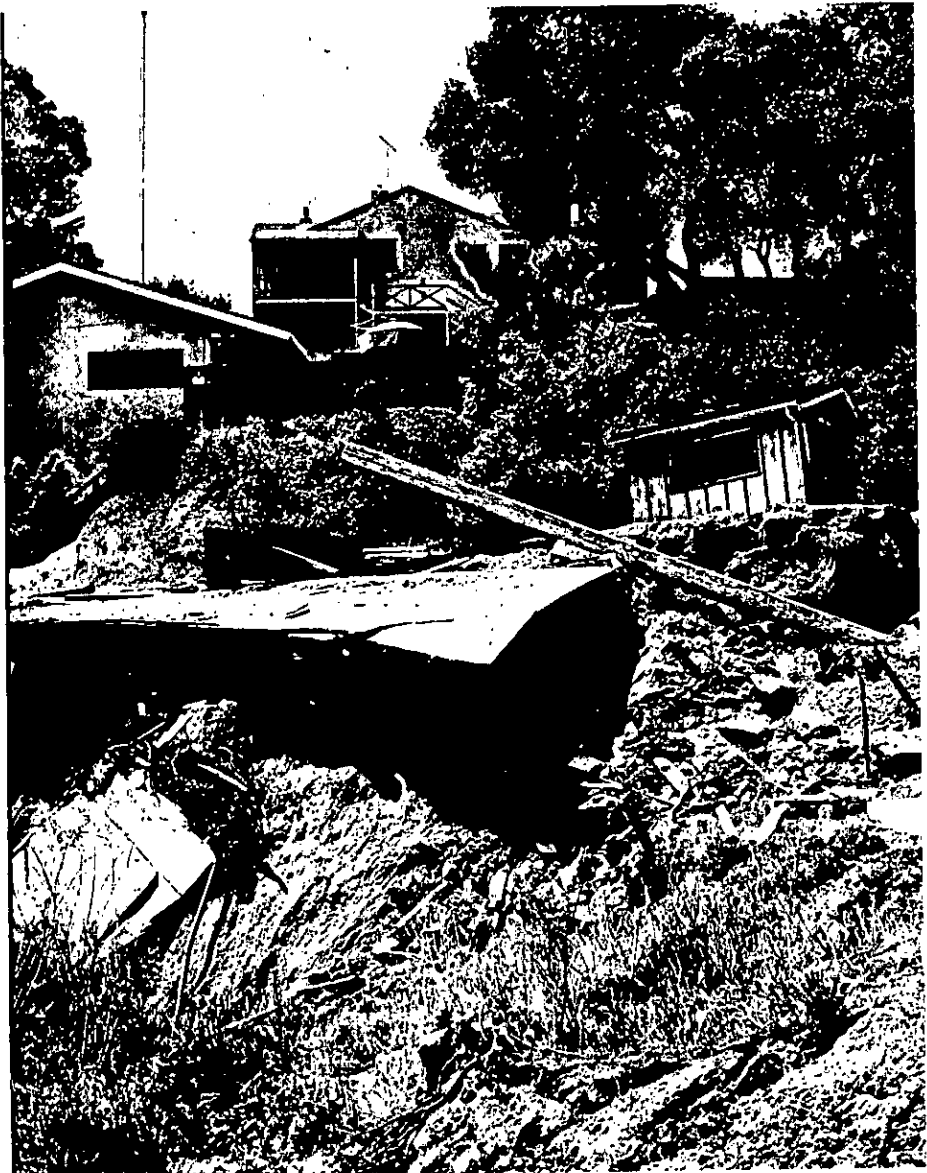
الفصل السابع حركة المواد السطحية على المنحدرات

Downslope Movement of Surface Material

اهميتها
انواع الانزلاقات
الحت بواسطة الامطار
الانجرافات الضخمة
لحظة الانطلاق
اسئلة
مراجع اضافية

انزلاق ارضي في مكان معمر في اوكلاند كاليفورنيا . لقد تطور الانزلاق
من المطر الشديد . ولا يرى الا جزء صغير من الانزلاق .

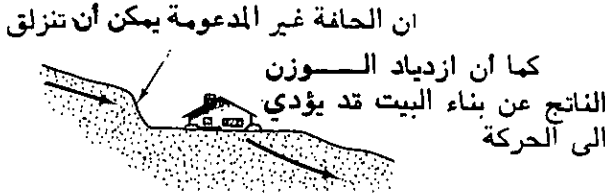
V



اهميتها

تتحرك المواد بتأثير من عوامل الجاذبية على سطح الأرض من فوق المنحدرات إلى الأسفل . فيتكون على سطح الأرض ما يسمى بالركام (١) . وهو ينجم عن تجوية سطح الأرض ويختلف عن طبقات الصخور الأصلية . وهذه الحركات هي التي تشكل سطح الأرض ، مما يلزم الباحث في التضاريس الطبيعية بالاهتمام بها . والحركة إلى أسفل تنتهي عادة بوصول المواد السطحية إلى واد أو نهر ليحملها بعيدا . وهكذا تعمل الانهار والانجرافات معا على تشكيل التضاريس . وسنرى في الفصل القادم مثلا على أن نهرا قد يبدأ هو بشق واديه في السطح . ولكن حركة الانجرافات على الجوانب تحدد حافته وتزيد من عرضه الضيق تدريجيا حتى يصبح نهرا (انظر الشكل (٨ — ١٠)) . وتتضح فعالية الانجرافات عند تحليل طبيعة المنحدرات . ففي معظم الحالات ينحدر سطح الأرض بأقل من خمس درجات ولا يوجد إلا القليل من السطوح التي يزيد انحدارها عن ٥° . وفي حالات عديدة تكون حركة الانزلاق (الانجراف) عملية بطيئة ولكنها تصبح خطيرة عند وجود عوائق عند المنحدرات ، كالمباني والطرق وقنوات السري فتسبب دمارها ، ولهذا فإن تفهم تلك العمليات يعتبر أساسيا قبل القيام بالمشاريع الهندسية حتى ولو بدا أن انحدار السطح بسيط (انظر الشكل (٧ — ١)) .

الشكل (٧ - ١) : البناء على سفوح التلال قد يؤدي الى حركات أرضية اذا كان الموقع غير مناسب .



انواع الانزلاقات

تحدث الانزلاقات احيانا بسرعة واحيانا اخرى تكون بطيئة الحركة ،وتحتوي احيانا على الاجزاء العليا فقط من المواد التي على السطح واحيانا تكون حركة كبيرة الحجم تشملها جميعا وقد تشمل ايضا جزءا من الصخور السفلية . وتعود عمليات الانجراف هذه لاسباب مختلفة ، فعلى المنحدرات الشديدة الميل لايتكون الركام عادة بل تتخذ الحركة شكل الانهيار الصخري (٢) (فيتراكم الحطام في القاع ويكون ما يسمى بحطام السفع الانهياي (٣)) انظر الشكل (٧ - ٢) . اما على المنحدرات الاقل ميلا — وهذا يعتمد اساسا على الطقس الذي يؤثر بدوره على عمليات التجوية — فانه من الممكن أن يتكون الركام . وأن يبدأ انتقاله هذا الحطام الى اسفل بطرق ستكون موضوع بحث فيما بعد « فالتجوية التي يتحكم بها الطقس تحدد نوع الحركة الى اسفل مسببة بذلك اختلافا في المظاهر الطبوغرافية بين المناطق الرطبة والمناطق الجافة (انظر الشكل (٧ - ٣)) . وسنبين في الفصل الثامن تفصيليا اشكال المنحدرات والنظريات حول تكوينها . ومن ناحية اخرى فان تركيب صخور الهضاب ونوعها قد تحدد عملية التمرية . كما أن الاختلاف في سرعة التجوية ونوعيتها ينتج عنه ايضا اختلاف في كمية الحطام الصخري المعرض للتحرك الى اسفل معرضا بذلك التراكم تحت السطحية احيانا للحت .



الشكل (٧ - ٢) : تتكون المخروطات الانهيارية عند قدم المتحدر العميق نتيجة للتجوية الميكانيكية كما يبين هذا المنظر من حديقة برايس كانيون القومية .



الشكل (٧ - ٣) : جبال الابلاشيان في شمال كارولينا . قارن جوانب المنحدرات المستديرة هنا مع الطوبوغرافيا الحادة في المناطق الجافة بالشكل (٧ - ٢) .

الحت بواسطة الامطار

Erosion by rain

ان تعرية المواد المكونة لسطح الارض بواسطة الامطار تتم بطريقتين :
بالاصطدام وبالجريان . فاصطدام قطرات المطر بالسطح يفتت المواد المكونة له
ويجعلها تتطاير في الهواء (انظر الشكل (٧ - ٤)) . وعلى سفوح التسلال
المائلة يتساقط جزء من هذه المواد المفتتة الى اسفل . ومن ناحية اخرى فان
قطرات المطر تسقط على الارض بسرعة ٣٠ قدما في الثانية ، وهذه السرعة تتأثر
بقاومة الهواء لها . ان عشر الانثى من المطر على سطح فدان واحد يزن ١١
طنا من الماء وطاقة هذه الكمية من الماء تقدر بـ ٥٥٠٠٠ قدم باوند/ثانية . ان
٩٠٪ من هذه الطاقة الكبيرة تتبدد عند الاصطدام بالارض . وبهذا يرتفع ٩٠٪
من الرذاذ المتطاير نتيجة الاصطدام الى حوالي قدم أو أقل عن سطح الارض ،
بينما يتناثر الرذاذ جانبيا لمسافة اربعة أمثال ذلك . ولان عملية الحت بالاصطدام تكون
فعالة في المناطق غير المغطاة بالعشب او الاشجار فان أكثر المناطق تأثرا بهذه
الطريقة من الحت هي الصحارى (او الحقول المحروثة حديثا) اذا ما هطلت
عليها امطار غزيرة أو مرت بها أعاصير . اما الحت بواسطة الرذاذ المتطاير فهو
سبب ازاحة التربة من المرتفعات التي قلما تتعرض للسيول . وقد تتلف التربة
اذ تعمل على تطاير ذرات الطين الخفيفة ثم حملها بعيدا مخلقة وراءها الغرين
(٤) . ومياه الامطار التي تتسرب الى داخل الارض تنحدر على سفوح الهضاب
الى اسفل معرية اياها كما تفعل الانهار ، واذا تجمعت هذه المياه في المنحدرات



الشكل (٧ - ٤) : التعرية بواسطة
المطر .

فان باستطاعتها شق الاخاديد في الصخور ، وهذا نوع من الحت يعتمد على مقدار ميل المنحدرات وعلى نوعية وكمية الغطاء النباتي عليها . وهذا يظهر جليا في الاماكن التي انتزع منها الغطاء النباتي سواء كان ذلك بسبب الحرائق او بواسطة الانسان .

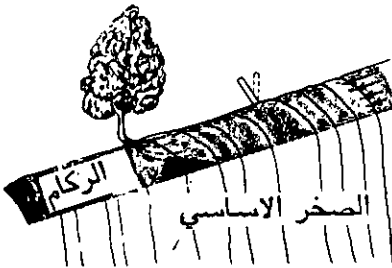
الانجرافات الضخمة

Massive downslope movements

تظهر الانجرافات الضخمة التي تشمل كميات كبيرة من الصخور بأحـد الاشكال التالية : الزحف (٥) ، انسياب التراب (٦) ، انسياب الطين (٧) ، الانزلاق الارضي للركام (٨) .

اما عملية الزحف فتتمثل في الحركة البطيئة المنحدرة . وفي بعض الاحيان تشترك في هذه العملية الصخور الاساسية (٩) . وما الاعمدة المائلة والشجر المنحني على بعض المنحدرات الا دليلا على حدوث عملية الزحف هذه عندما تكون كبيرة .

وبشكل عام فان الاشجار في مثل هذه الحالة لا تستطيع تثبيت جذورها وبذلك لا تنمو على المنحدرات الا الاعشاب والشجيرات الصغيرة وفي حالات اخرى نجد جذوع الاشجار موجهة كنتيجة للزحف البطيء (انظر الشكل (٧ - ٥) و (٧ - ٦)) .



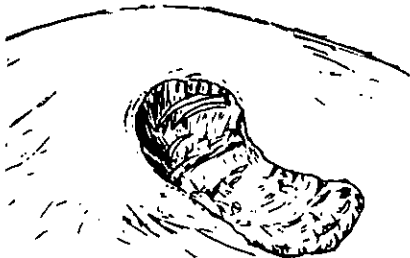
الشكل (٧ - ٥) : تأثير الزمن على اعمدة السياج والشجر ، ويعود السبب في هذا الى حركة زحف الركام السطحي البطيئة على المسطح .



المشكل (٧ - ٦) : زحف في الاردواز slate

وإذا ازدادت كمية المياه على الركام فإنه ينتج عن ذلك جريان زحف تراشيحي ، وعندئذ يفصل جزء من الركام ويتحرك لمسافة قصيرة . ويتميز الانسياب التراشيحي عن الزحف في أنه يكون منحني ذا حافة قوية في مكان الانكسار (انظر الشكل (٧ - ٧)) .

وبازدياد نسبة التشبع بالماء يتحول انسياب التراب الى انسياب طيني يشبه في سلوكه السوائل . ان سقوط الامطار على المواد البركانية الفتاتية في جوانب بعض البراكين تحدث الانسياب الطيني ايضا وهي وسيلة مهمة لانتقال المواد البركانية من مكان الى مكان اخر . وفي المناطق القاحلة نوع اخر من الانسياب السليبي حيث يتسبب هطول الامطار الغزيرة في جريان كميات كبيرة من المياه في احواس التصريف المغذية للانهار . ثم تندفع هذه المياه بشكل طبقات مائية ، جارفة معها معظم الحطام الصخري على سطح الارض . وبما أن هذه الكتل المائية تصب في الانهار فاننا نجد كميات كبيرة من المواد الطينية عالقة في مجاري



المشكل (٧ - ٧) : انسياب تراشيحي

earthflow بين التحدّر المنحني عند

نقطة الانكسار .

تلك الانهار وكنتيجة لذلك فان مجرى نهر جاف مثلا يتحول بسرعة هائلة الى سيل . وهذا السيل هو انسياب طيني ، يحدث بسرعة كبيرة تتقدمه احيانا واجهة كالجدار . وتتسبب حركة الانسياب الطيني هذه (اذ تنحدر من الجبال) في حدوث دمار كبير وأخيرا يفقد الطين ماءه اذ يتسرب الى داخل الارض فيبدأ في التصلب ويتوقف عن الحركة (انظر الشكل (٧ - ٨)) .

وهناك نوع اخر من الانسياب الطيني يسمى السيل البارد (١٠) ويحدث في المناطق الباردة . عندما تذوب التربة المتجمدة فتسيل من القمم الى اسفل فبينما يحدث هذا في المناطق الباردة في ايام الربيع الدافئة ، نراه يحدث في مناطق التجمد الدائم خلال الصيف (انظر الشكل (٧ - ٩)) . عندئذ ينزلق السطح الطيني من فوق المنحدرات باتجاه الاودية . والواقع ان السيل البارد هو مشكلة للمنشآت خاصة في الشمال البعيد في مناطق التجمد الدائم . وهي كما يدل اسمها مناطق لا تنصهر فيها التربة كليا حتى خلال فترة الصيف .

وهناك نوع اخر من حركة التربة يسمى بالصعود الصقيعي (١١) . وهي تنجم عن خاصية التجمد والانصهار . فعندما يتمدد الماء بسبب التجمد يدفع الحصى او الركام من التربة الى اعلى . وهذه ظاهرة معروفة جيدا لدى مزارعي نيو انجلاند حيث يجدون مزارعهم في الربيع مغطاة بالحصى الذي لم يكن موجودا



الشكل (٧ - ٨) : زحف طيني في جبال سان خوان ، كولورادو . يمكن رؤية بدايته عند الافق وينتهي في بحيرة . والاشجار التي تنمو على الزحف الطيني تحدد عمره .

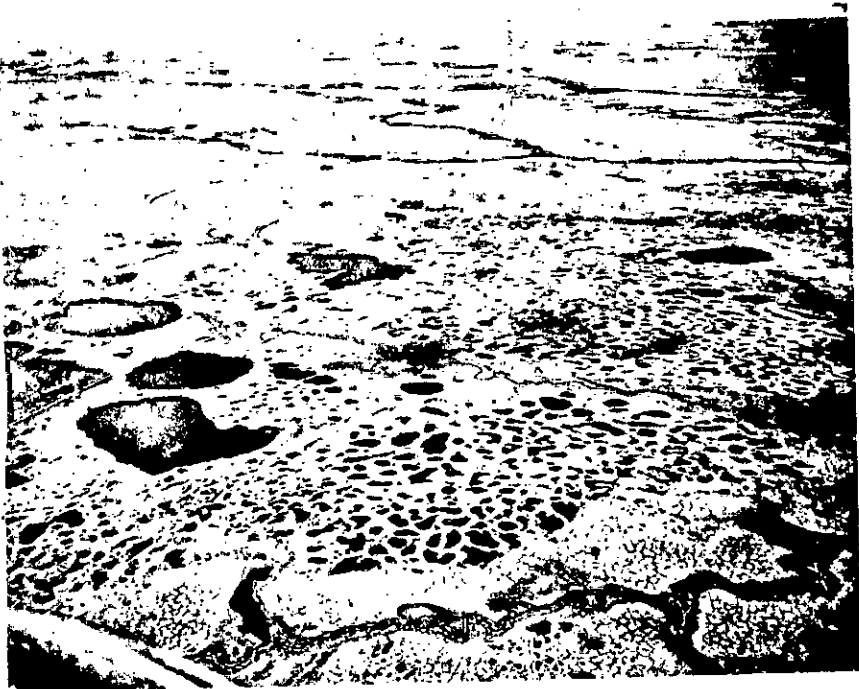


الشكل (٧ - ٩) : قد يكون تدفق التربة الجليدية Solifluction هو السبب في جمل المتحدرات ناعمة في الجزء الاوسط من هذا المنظر في جبال السيرانيغادا بكاليفورنيا .

اثناء الخريف . لذلك كان يعتقد مزارعو العصور الوسطى بأن الحصى تنمو مسي التربة كما تثبت الحبوب . والواقع أن عملية الصعود المقيمي هي عملية معقدة لم تفهم الفهم الكافي . فالتهدد البسيط للماء اثناء نجهده لا يعتبر كافيا لدفع الحصى ولرفع الاعمدة القائمة على سطح الارض عدة انشاثات الى اعلى . ان معظم الماء الموجود في التربة يملؤ عادة الفراغات التي تفصل الذرات الدقيقة عن بعضها فعندما يتجمد هذا الماء يتهدد وبذلك يرفع الحصى الواقعة فوقه فتبتليء تلك الجيوب بالرطوبة التي تتحول اثناء عملية التجمد الى عدسات (١٢) من الصقيع وهذا الازدياد في حجم الجليد هو الذي يتسبب في رفع السطح بمقدار الانشاثات المذكورة آنفا . وعندما يحصل الانصهار فان الجزيئات الصغيرة المكونة للرسوبيات الدقيقة تتقارب بفعل خاصية التوتر السطحي (١٣) تاركة الحصى الكبيرة في نفس المستوى من الارتفاع الذي وصلت اليه اثناء عملية التهدد . وفي المناطق التي تتكرر فيها هذه العملية عدة مرات في العام الواحد فان تلك الحصى تظهر على السطح متجمعة في دوائر تحيط بالجيوب التي تحت الجزيئات الدقيقة ان تكوين هذه الحلقات او المضلعات الحجرية لا يزال غير واضح تماما حتى

الان (انظر الشكل (٧ - ١٠)) .

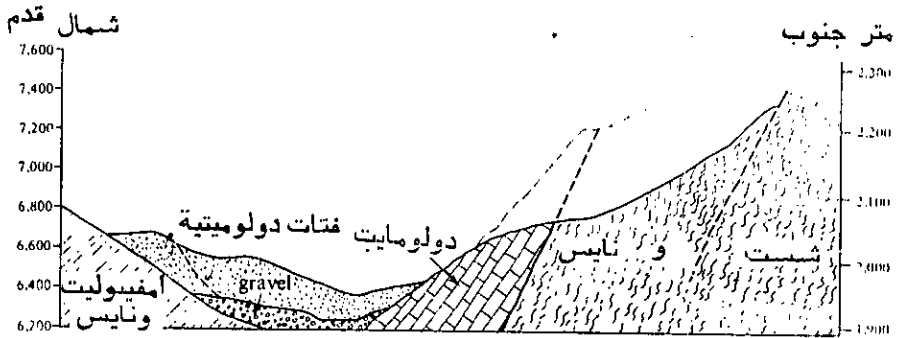
اما **الانزلاقت الارضية** فهي انزلاتات سريعة ومفاجئة للصخور الاساسية او الركام . وهناك نوعان من هذه الحركة يتعلقان بالصخور الاساسية وهما



الشكل (٧ - ١٠) : تنشأ المضطربات الصخرية بفعل الصقيع . (أ) منظر عنساق
مسق الاسكا . (ب) منظر جوي مائل بالقرب من نثرنشل ، مانيتوبا .



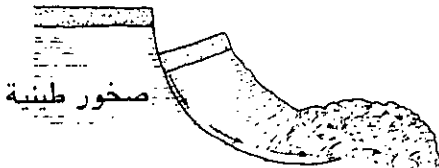
A



الشكل (٧ - ١١) : انزلاق أرضي بالقرب من بحيرة هيجان ، مونتانا . (أ) لقد تحرك الانزلاق بفعل هزة أرضية وجاء من اليسار تاركا خلفه ندبة على الجبل وقد انتقل هذا الفتات الى مكان عال من الجانب الايمن للوادي . وقد حجز الانزلاق نهر الماديسون فكمون البحيرة الظاهرة في مقدمة الصورة . وما بقعة اللون الفاتح عند مكان الانزلاق الا مقطعا انشئي لتصرف البحيرة جزئيا . (ب) رسم هذا المقطع للانزلاق من موقع في الجهة المقابلة ل أ .

الانزلاقات الصخرية او الارضية والانهارات (١٤)، ويحدث الانزلاق الصخري عندما تنفصل كتلة صخرية من الصخور الاساسية وتنزلق على المنحدر الى اسفل (انظر الشكل (٧ - ١١) . واثناء ذلك تتحطم هذه الكتل عند سقوطها وتفتت منتشرة في الاودية مثل المواد السائلة . فاذا كان الوادي الذي تنتهي فيه ضيقا فقد ترحف قليلا الى اعلى صاعدة على السفوح المقابلة . ويسمى هذا النوع من **الانزلاقات الارضية** احيانا بالانهارات الجبلية (١٥) . ولكن من المفضل استعمال هذا الاصطلاح في حالات انزلاقات الثلوج فقط . وفي العادة تكون هذه **الانزلاقات الارضية** عند حدوثها كبيرة ومدمرة وتحتوي على ملايين الاطنان من الصخور . وكما يلاحظ من الاشكال المرفقة فان هذه **الانزلاقات الارضية** تحدث عندما تكون سطوح ضعيفة في الصخور ، كسطوح الطبقات أو الفواصل موازية لسطوح المنحدرات وخاصة ان كانت هذه المنحدرات منتهية في اسفلها بجرف ناتج عن نهر أو زحافة جليدية أو حتى بفعل الانسان . فإخطار **الانزلاق الأرضي** اذن اخطار يمكن التعرف عليها بدراستها جيولوجيا . والانزلاقات التي تجري في الركام المسطح تسمى **انزلاقات ركامية** (١٦) .

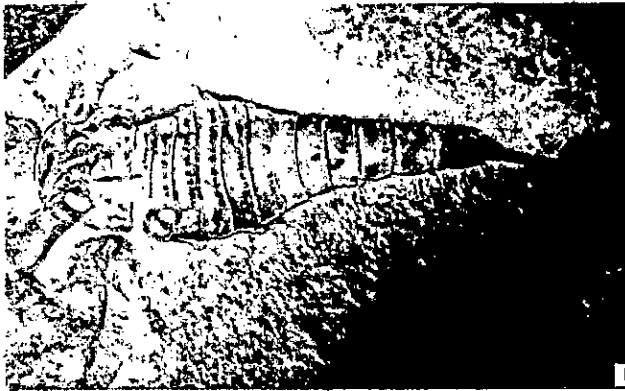
أما **الانهارات** فتنشأ في الحالات التي تغطي فيها الصخور الصلبة بعض الطبقات الضعيفة . لاحظ في الشكل (٧ - ١٢) سطح الانزلاق المائل وانجراف الطبقة المقاومة محدثة ما قد يصبح كبركة يتجمع فيها الماء . لاحظ ايضا ارتفاع قدم السطح المنزلق . ويبدو ذلك جليا حيث تكون الصخور التحتية ضعيفة ولينة ، وبمعكس الانزلاقات الصخرية تكون الانهارات سببا في ظهور جسروف صخرية (١٧) ذات ارتفاع يقرب احيانا من المستوى الاصلي لها تاركة بذلك المجال مفتوحا لتكرار ذلك الحدث وهكذا فان عملية الانهيار تعتبر مستمرة وفي المناطق التي تحدث فيها يستطيع المرء وبشكل عام تتبع مراحلها المختلفة على امتداد الجروف الحالية .



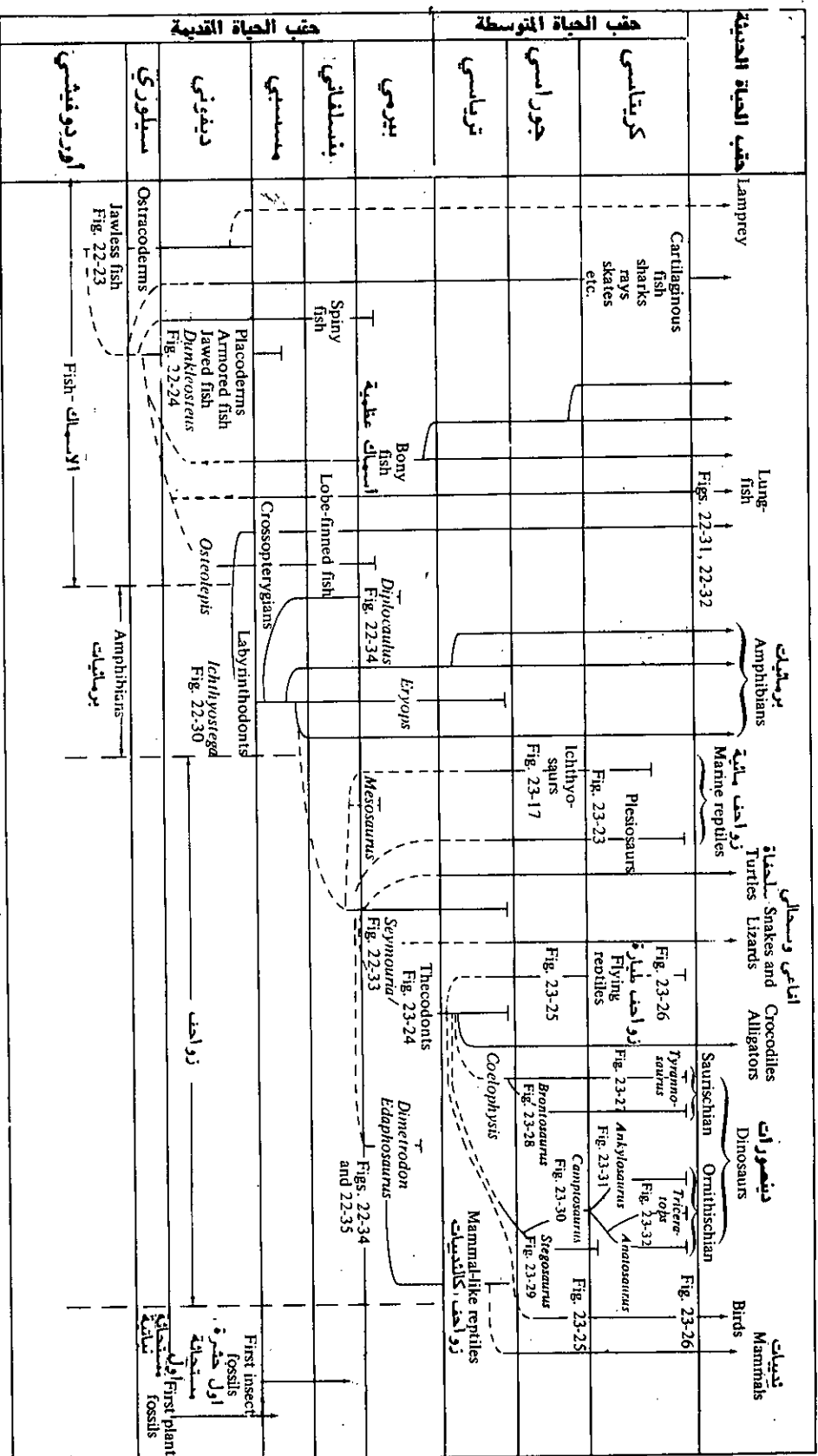
الشكل (٧ - ١٢) : كتلة ساقطة تدين
انخفاء في القاعدة وطيا منعكسا في الكتلة
المنزقة .



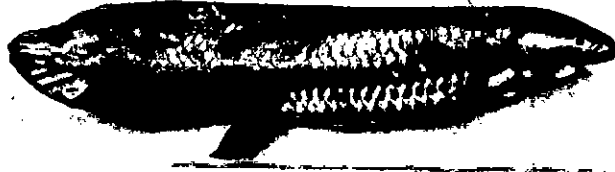
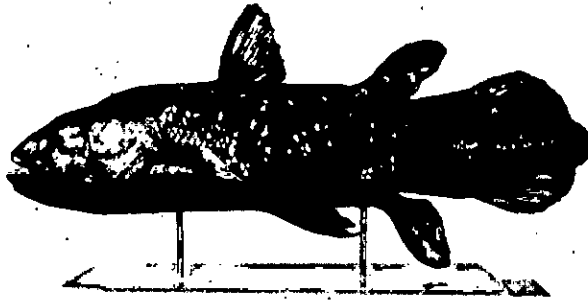
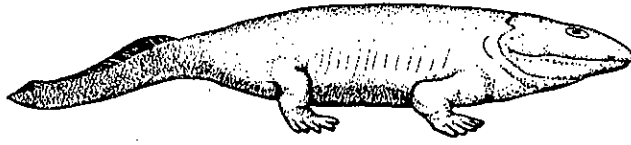
الشكل (٢٢ - ٢٢) : بين غابة من العصر الديفوني في غرب نيويورك . فقد كانت النباتات في أوائل العصر الديفوني عموما صغيرة وأولية وتسكن المستنقعات .
(أ) - يسمى *Psilophyton* ، وكان واحدا من النباتات الكبيرة التي انتقلت إلى العصر الديفوني الأوسط فتكون أوائل الغابات الحقيقية .
(ب) - من أوائل الشجر وبلغ ارتفاعه (هـ) قدما . (ج) تجمعات من نبات الإسوخ *Horsetail* (د) صورة لنبات الـ *lepidodendron* .
رسم الصورة C. R. Knight ، وهي من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي .



الشكل (٢٢ - ٢٢) : يري صورة عقرب الماء العذب والمقرب العادي ، من العصر السيلابوري ، وكلاهما وجد في نفس الوحدة الرسوبية في مواقع متعددة من نيويورك .
(أ) وتسمى *Eurypterus remipes* . (ب) - ويسمى *Carcinosoma* *scorpionis* .
ويظهران أيضا في الشكل (٢٢ - ١٦) . (الصورة من المعهد السميثسوني) .



الشكل (٢٢ - ٢٤) : نشأة الفقاريات . بالرغم من أن هذه اللوحة تبدو هائلة إلا إنه يمكن تتبع المراحل التطورية في أسفله ، فنرى كيفية تطور الاسماك في أسفل اليسار الى الثدييات في أعلى اليمين . ويظهر في اللوحة أهم الفقاريات فقط ، والتي قد تشير الى اشكالها ضمن هذا الجزء من الكتاب .



الشكل (٢٢ - ٢٥) : تطور البرمائيات .

(١) - تسمى *Ichthyostega* وهي اقدم البرمائيات ومن العصر الديفوني الاعلى ووجدت في جرينلاند ، وطولها قدمان . (ب) - تسمى *Latimeria* ووجدت كمستحاثة بالقرب من مدغشقر . فقد تطورت اسماك الزعانف والشبيهة بها الى برمائيات اولية ، وبطول قدره خمسة اقدام . (ج) - السمك الاسترالي الرئوي . فالمقدرة على نفث الهواء كالسمك الرئوي كانت مرحلة اخرى في تطور البرمائيات من الاسماك وبلغ طولها حوالي اربعين انشاً . (الصور من المتحف المبداني للتاريخ الطبيعي) .



الشكل (٢٢ - ٢٦) : السيجوريا ، وهي قريبة الاشبه من البرمائيات . يمكن ان نقسب الى البرمائيات لان بيضها لم يوجد في نفس الصخر الذي وجدت به . ويعتقد ان الزواحف والفقاريات المتقدمة قد نشأت منها اذ يبلغ طولها (٢٥) قدماً تقريبا . (الصورة من المتحف المبداني للتاريخ الطبيعي) .

الواسع في زمن السيلوري الاخير اوجد بيئات مناسبة لنمو النبات . وكثرت النباتات في الديفوني ، حيث أن رواسب الفحم العظيمة في العصر البليوزويكي الاخير بين تطورها وكثرتها (الشكل (٢٢ - ٢٢)) . وابتداء من الديفوني الاخير ، فان الفحم يظهر في كل مرحلة جيولوجية . وقد وجدت اقدم طبقات فحمية في صخور البريكامبري في ولاية ميشيجان ، وبالرغم من أنه يشير الى كثرة في الكربون ، وأنه قد يعود الى اصل عضوي ، الا انه قد لا يعزى الى نباتات ارضية .

ولقد أدى تطور النباتات الى تهيئة الطريق لمرحلة تطور الحيوانات الارضية وربما كانت العقارب (٤٩) التي وجدت في صخور السيلوري اول الاحياء التي تنفست الهواء (الشكل (٢٢ - ٢٣)) . وكما هو متوقع ، كانت البرمائيات (٥٠) اول الفقاريات التي عاشت على اليابسة . فقد تطورت من الاسماك (الشكل (٢٢ - ٢٤)) ، وأن مقدرتها على تنفس الهواء لا بد وانها كانت ذات فائدة عظيمة . وحاليا ، اذا ما جفت البركة التي تعيش فيها ، فانها تزحف الى بركة أخرى . وربما حصل هذا في العصر الديفوني ، اذ تظهر أولى مستحاثات البرمائيات في اواخره (الشكل (٢٢ - ٢٥)) . وربما كانت احدى مراحل تطور البرمائيات من الاسماك شبيهة تماما بالاسماك الرئوية (٥١) الموجودة حاليا في افريقيا ، وهذه لها المقدرة على العيش في الفصل الجاف مدفونة في الطين تنفس الهواء ، وكأنها في حالة استئناس شتوي .

لقد كان ظهور الزواحف (٥٢) اخر مرحلة في تطور الكائنات التي عاشت على الارض . فتطورت البرمائيات سريعا حالما تطورت الزعانف الى ارجل واصبحت قادرة على التحرك بحرية . وعلى كل ، فلم تكن مفصولة تماما عن البحر لانه كان عليها أن تعود لوضع بيضها فيه . ثم طورت الزواحف بيضتها فكانت البيضة المتطورة التي توضع على اليابسة ليسهل فقسها . وربما حصل هذا التطور في العصر المسيسيبي (٥٣) (الكربوني الاسفل) . ومن الصعب التفريق بين البرمائيات والزواحف الى أساس هياكلها لانها متماثلة . وقد وجدت أولى البويض في بداية البيرمي مع السيموريا (٥٤) في تكساس (الشكل (٢٢ - ٢٦)) ، وقد

49. Scorpions

50. Amphibian

51. Lungfish

52. Reptiles

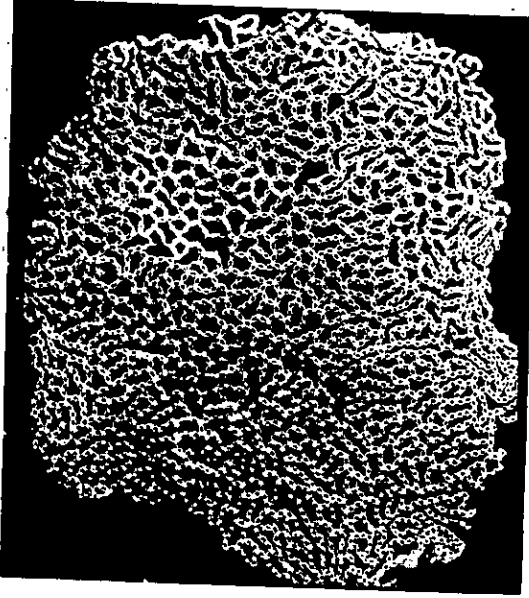
53. Mississippian

54. Seymouria

اعتبرت بناء على ذلك من الزواحف . فقد بدأت السيموريا حياتها في المسيسيبي .
 وظهرت أولى مستحاثات الحشرات في اواخر الديفوني ، وأصبحت كثيرة
 وشاعت نسبيا في اثناء البنسلفاني (٥٥) (الكربوني الاعلى) (الشكل ٢٢—
 ٣٨) . وعند نهاية الحقبة البليوزويكية كانت معظم انواع الكائنات الحية قد
 بدأت ، الا ان الثدييات وانواع النباتات السائدة حاليا لم تكن قد ظهرت بعد
 الشكلىن (٢٢ — ٢٧) و (٢٢ — ٢٨) . وقد حصل تغير هام في حياة الكائنات
 الحية بانتهاء الحقبة البليوزويكية . فقد اضمحل كثير من انواع اللافقاريات
 القديمة ، وظهرت سلالات جديدة ومختلفة الشكل (٢٢ — ١١) . أما لماذا
 حصل ذلك ، فلسنا نعرف عن يقين . ومهما يكن من أمر ، فان الحيوانات والنباتات
 التي ظهرت في اواخر تلك الحقبة على اليابسة لم تتأثر كثيرا . ومن المحتمل ان
 انكماش البحار الذي حصل في ذلك الوقت قد قلص اطراف البيئة البحرية مما
 ادى الى فناء العديد من الانواع المتخصصة . وقد صاحب المراحل الطارئة الاخرى
 تأثيرات متماثلة . ولكن ليس الى الحد العظيم الذي صاحب اواخر البيرمي .
 وتري اللافقاريات البحرية التي عاشت في الحقبة الوسطى (الميزوزيك) (٥٦)
 اختلافات عديدة عن تلك التي كنت في الحقبة القديمة ، ورغم حدوث عسدة
 انقراضات عند ملتقى البيرمي والترياسي ، فان كثيرا منها حدث ايضا في اثناء
 البيرمي . فقد ابيدت تماما الترايلوبايتات ، والكيسيت والبرعميات (الشكل
 ٢٢ — ١١) . وفي الترياسي الاسفل لم توجد المرجانيات (٥٧) ولا المنخريات (٥٨)
 لكنها ظهرت مرة ثانية في الترياسي الاوسط كأصناف مختلفة كثيرا عن تلك
 التي ظهرت في البيرمي (الشكل ٢٢ — ٢٩) . وكانت منخربة الفيوزيلينيد (٥٩)
 شائعة في البيرمي ، ومستحاثاتها الآن من المستحاثات الدالة (الشكل ٢٢—
 ٣٠) . وكذلك ، فان اصنافا عديدة من الاوليات ، والمرجيت ، والزنابق
 تختفي عند هذا الحد . وعلى كل ، فقد اتسعت البحار في العصر الجوارسي (٦٠)
 وحصل تطور سريع ، ادى الى ظهور عدة انواع جديدة . ويبدو أن اتساع
 البحار كون آفاقا ايكولوجية جديدة ، ونشأت كائنات حية لتعيش فيها (الشكل
 ٢٢ — ٣١) ، على عكس ذلك الفناء العظيم الذي صاحب حقبة الحياة الوسطى .

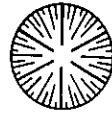
55. Pennsylvanian
 56. Mesozoic
 57. Corals

58. Foraminifera
 59. Fusulinid
 60. Jurassic



مقطع تخطيطي يري السبنا

مقطع تخطيطي يري السبنا



منظر تخطيطي
يري ترتيبات
حزوز السبنا



عينة عامة
من الصعب
تمييز التناظر
بدون مقطع



منظر تخطيطي
يري ترتيبات
السبنا



عينة عامة

مرجان رباعي منفرد — باليوزويك

مرجان سداسي منفرد — ميزوزويك

الشكل (٢٢ - ٢٩) : المرجان .

(١) — تسمى *Halysites* وهي من نوع المرجان السلسلي ومن العصر السيلوري ، وجدت في منطقة لويزفيل في ولاية كينفوكي . (ب) — تسمى *Favosites* ، وهي من نوع المرجان السداسي ومن العصر الريفولي ، وجدت في منطقة أركوناني ولاية اونقاريو . ان (١) ، (ب) من نوع المستعمرات المرجانية المسطحة . (ج) — مرجان منفرد أو فنجاني ومن حقبة الحياة القديمة ، ويظهر فيه التنااسق الرباعي الطية . (د) — مرجان منفرد اما من حقبة الحيساة الوسطى أو الحديثة ، ويظهر فيه التنااسق السداسي الطية . (الصـمـر من المـهـمـد السـمـيـشـوني) .

ونجد سجل الانتقال من البيرمي الى الترياسي في الصخور الرسوبية البحرية في جزيرة تيمور فقط . فاذن فان هذا كان زمن انحسار عام للبحار في جميع

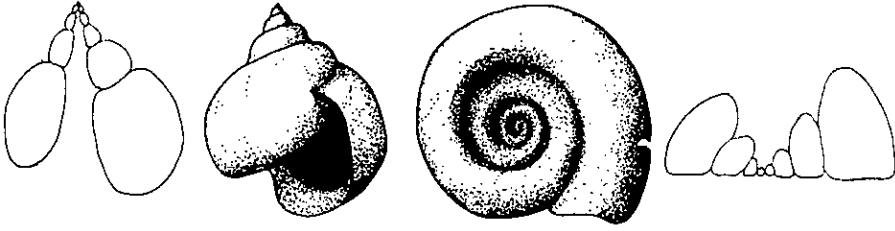


الشكل (٢٢ - ٣٠) : منخرية الفيوزيلينيد . Fusulinid ، وتشتمل على نوع يسمى Parafusulina . وجدت في العصر البيرمي في منطقة مراثون بولاية تكساس وطولها (٢) انشاً . والفوزيلينيد عبارة عن منخرية كبيرة تستعمل كهستحاثات مرشدة أو دالة لعصري البينسلفاني والبيرمي وقد انقرضت عند نهاية العصر البيرمي . (الصورة من المعهد السميثسوني) .

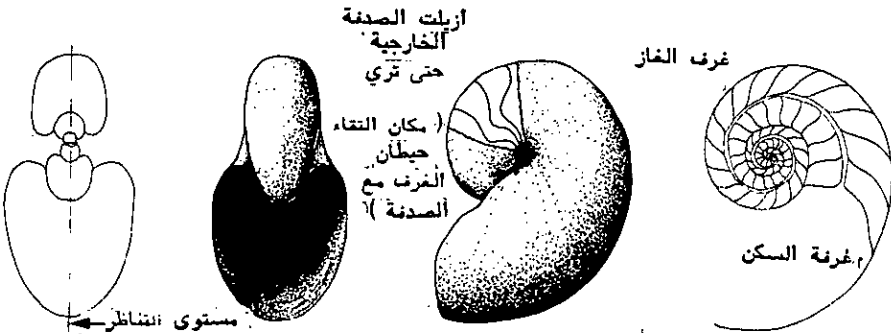


الشكل (٢٢ - ٣١) : أرضية بحر عصر الجوراسي (الحلقة السادسة) ويظهر فيه أحياء لانقارية من الرأس قديمات المستقيمة والتي تشبه الحبار ومحاربات بالإضافة إلى وجود الاكثيوصورس ، وهو من الزواحف . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

العالم . وفي بداية الفصل السابق قدمنا رأياً مفاده أن مثل هذه الأحداث قد تحدد حلقات طبيعية من تاريخ الأرض . وهذا يقضي بأن انتهاء البيرمي ينهي إحدى هذه الحلقات . ومنذ وقت مبكر لوحظ التغير الهائل في الكائنات الحية في هذا العصر وقد استُخدم هذا للتفريق بين الحقبة القديمة والوسطى . ولكن لقد استمر الترسيب عبر هذا الحد ، في جنوب غرب الولايات المتحدة ، بحيث أن الحلقة الخامسة تضم هذا الحد . أما في غرب الولايات المتحدة ، فقد كانت البحار



١ - أصداف ومقاطع تخطيطية خلال لفات في قومتين عامتين

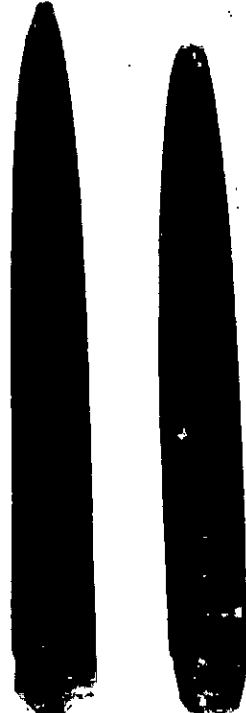
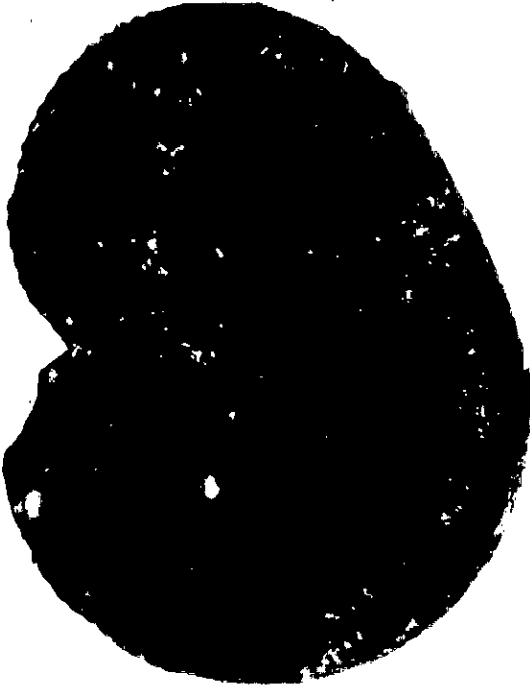


ب - صفة ومقطع تخطيطي في الراسدييات عموما .

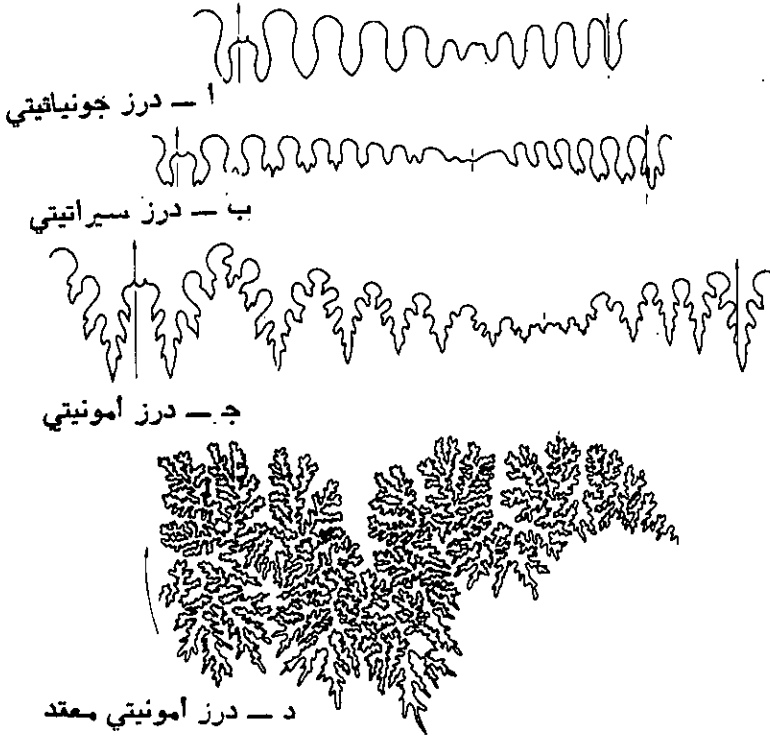
الشكل (٢٢ - ٣٢) : يبين الفروق بين القواقع و الراسدييات
(١) - قوقعة ايس لها غرف او تناسق . (ب) - رأس قدمة لها غرف وبعض النظام
المعقد (الشكل ٢٢ - ٣٤) وملفوفة في مستوى متناسق الا أن هناك بعضا من
الراسدييات غير الملفوفة . فالقواقع المبينة تتعلق بالشكل الخارجي الا أن هناك
مروفا أخرى أساسية .

محصورة جدا في هذه الفترة وترسبت صخور عديدة غير بحرية .
وقد نشأت الرأس قديميات بسرعة في الحقبة الوسطى ، ونظرا لانها
مستحاثات دالة مثالية ، فقد مكنت من تأريخ دقيق جدا الاشكال ٢٢ - ٣٢ و
٢٢-٣٣ و ٢٢-٣٤ . وكانت هذه الحيوانات شبيهة برباعية الخياشيم (٦١)
المعروفة حاليا . وهي حيوانات سابحة ذات أصداف منفوفة . وقد تطسورت
بسرعة ، وكانت الاختلافات بين الانواع في زخرفة الصدفة واشكال تقسيماتها،
ونظرا لكونها حيوانات سابحة ، فان مستحاثاتها توجد في جميع البيئات . ويظهر
انها كانت تطفو ايضا بعد موتها .

أما لماذا طورت هذه الاحياء تقسيمات في غاية التعقيد فليس معروفا ، غير
انها تقوي الصدفة كما تقوي الثنيات الواح الكرتون . وقد اصبحت هذه

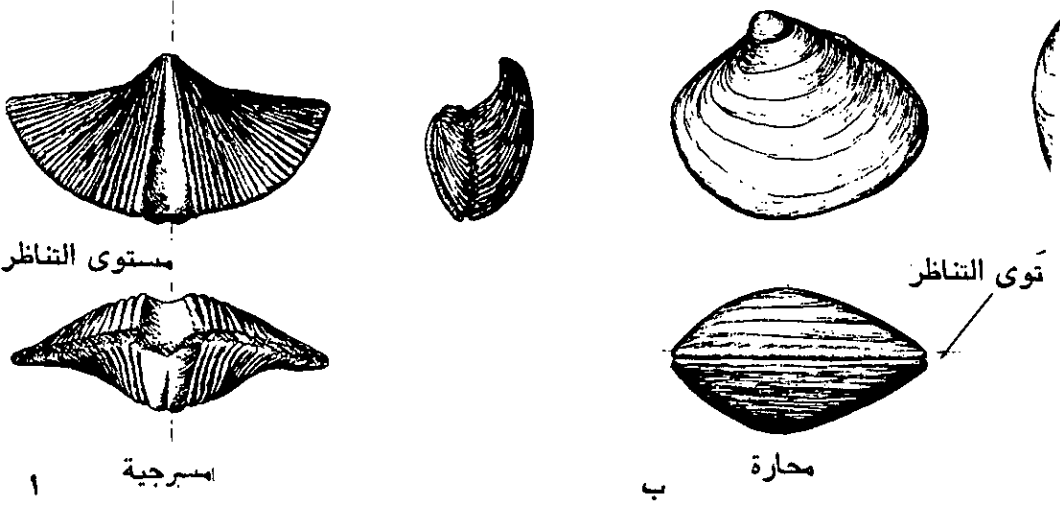


الشكل (٢٢ - ٢٣) : يبين انواع الـ **الاستفيميات** .
 (ا) - تسمى **Metengonoceras** . من العصر الكريتاسي ولها دروز من نوع
 سيراتيت ، (ب) - يسمى **compressus baculites** وهي عبارة عن جزء من صدفة
 امونيت مستقيمة طولها ثلاثة اقسام وتتميز بالدرز الامونيتي . (ج) - تسمى سكايفيت
Scaphites ، وهي امونيت كريتاسية ، طولها (١٠) انش . (د) - تسمى **Belemnitella americana**
 وهي بليمزويد كريتاسية وجدت في نيوجيرسي وطولها ثلاثة اقسام .
 (الصور من مؤسسة وورد للعلوم الطبيعية في روتشستر بولاية نيويورك)



الشكل (٢٢ - ٢٤) : يري انواع دروز المراسقدييات . الاسم تنجه نحو المخرج .
(نقلت الصور عن كتاب *Treatise on Invertebrate Paleontology* علم المبالينولوجيا اللاقارية ،
بموافقة دائرة المسح الجيولوجي الامريكية ومطبعة جامعة كنتاس) .

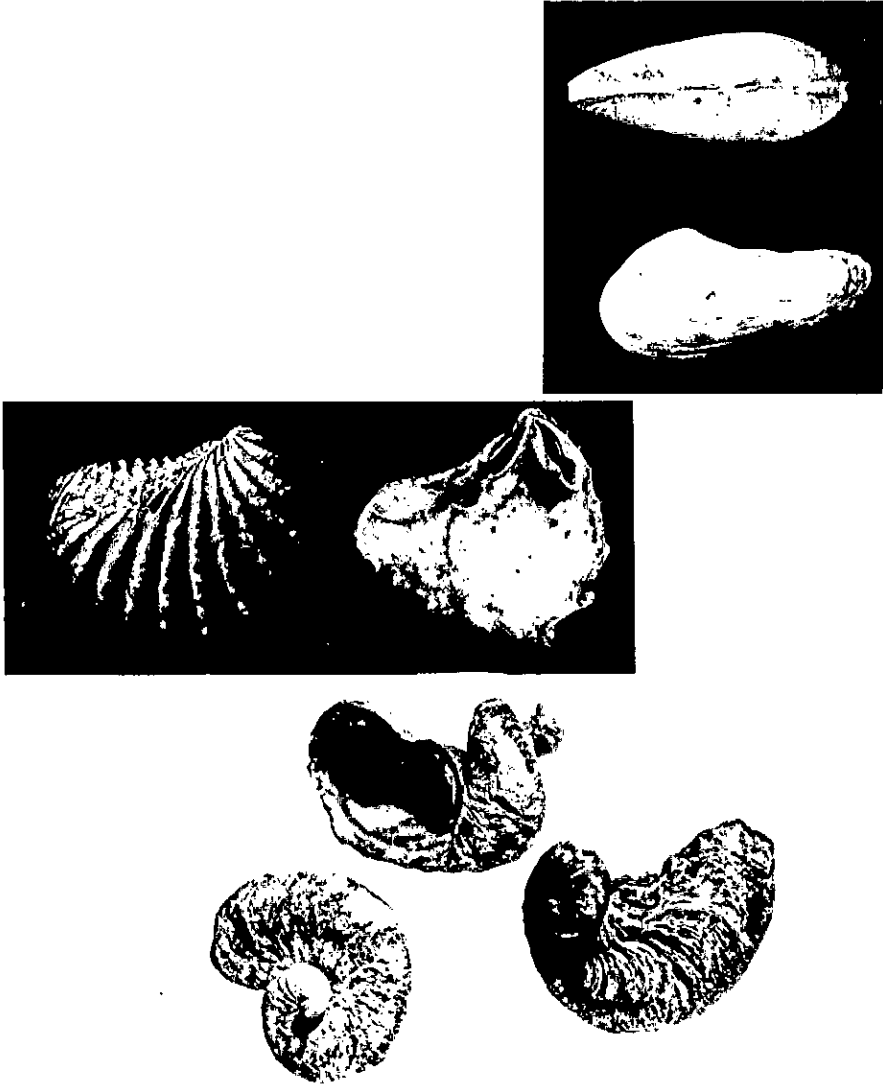
المجموعة نهائيا عند الكريتاسي ، ما عدا رباعية الخياشيم التي لها تقسيمات بسيطة ومصقولة . وقد يعني هذا ان الاصناف المتخصصة لا تستطيع ان تتكيف تحت ظروف جديدة ، مثل جفاف بحار الكريتاسي ، في حين تتكيف الاشكال البسيطة . وربما يفسر هذا سبب استمرار بعض المسرجيات والاسفنجيات البدائية باعداد صغيرة نسبيا من الكمبري وحتى الوقت الحاضر . والتغير الاخر في محيطات الحقبة الوسطى هو ظهور المحاريات . فقد سادت مسرجيات المصريين (٦٢) في الحقبة القديمة ، الا انها اصبحت اقل اهمية في الحقبة الوسطى والحديثة (الشكلان ٢٢ - ٢٥) و (٢٢ - ٣٦) . ومع بداية الجوراسي ،



الشكل (٢٢ - ٣٥) : يبين الفرق بين المحار والمسرّجة كما يلي : المسرّجة —

مصراعان غير متشابهين في حين أن المحار له مصراعان متشابهان ، بحيث أن الواحد منهما صورة الآخر لأن خط التماثل يمر بينهما في حين أن هذا الخط يقسم مصراعي المسرّجة ، علماً بأن بعض المحار يفترق إلى مثل هذه الخامية (انظر الشكل ٢٢ - ٣٦) .

شاعت المحاريات وعلى الأخص الأويستر (٦٢) . ولم تكن الأويستر المحاريات الوحيدة التي فقدت تناظرها ، وقد ظهرت المحاريات المشابهة للقرون المرجانية . ويرى الشكل (٢٢-٣٧) أصناف الحياة في الكريتاسي الأخير . ونباتات الحقبة الوسطى كانت مختلفة أيضاً عن نباتات الحقبة القديمة ، بالرغم من أن التغير لم يظهر حتى أواخر الترياسي . فقد اختفت المستنقعات الخصبة التي أنتجت طبقات فحم البنسلفاني (الشكلان ٢٢-٣٨) و (٢٢-٣٩) في البيرمي . وكان هذا نتيجة تغير المناخ من أحوال جافة إلى شبه جافة وهذا تؤيده رواسب الطبقات الحمراء والتبخريات ، والأحجار الرملية المترسبة بالرياح . لقد أدت الأحوال الصحراوية التي سادت في زمن الترياسي إلى حفظ القليل جداً من النباتات الزهرية (٦٤) التابعة لاوائل الحقبة الوسطى . فالمستحاثات النباتية القليلة ، كنبات الاسوخ (٦٥) ، التي وجدت في أوائل صخور الحقبة الوسطى قد استمرت من الحقبة القديمة . وفي أواخر الترياسي،



الشكل (٢٢ - ٢٦) : يبين أنواع المحار كما يلي :
 (أ) - تسمى *Nuculana* ، من العصر البنسلفاني من تكساس وطولها (٧٥) انش .
 (ب) - تسمى *Trigonia thoracica* من العصر الكريتاسي وسميكة المصراع .
 (ج) - تسمى *Exogyra arietina* ومن العصر الكريتاسي وطولها (١ ١/٢) انش
 وسميكة الصدفة وينعدم فيها التماثل .
 (الصور (١) ، (ب) من المعهد السميشوني ، (ج) من مؤسسة وورد للعالمية
 الطبيعية من روتشستر بولاية نيويورك .

ظهرت النباتات الزهرية في هيئة اشجار الجنكو (٦٦) والمخروطيات (٦٧) .



الشكل (٢٢ - ٣٧) : ارضية بحر الكريتاسي الاقصى
(الحلقة السادسة) بالقرب من كون كريك ، في ولاية تينيسي . تظهر
الامونيت الملفوفة والمستقيمة الاصداف (Baculites) بالاضافة الى عدد
من القواقع والمحار . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

والسرخسيات (٦٨) وعلى الاخص السيكداس (٦٩) وظهر ايضا قلة من نباتات
كاسيات البذور (٧٠) في صخور الترياسي . فنباتات كاسيات البذور التي تعتبر
عناصر هامة في الازهار الحالية ، قد اصبحت شائعة ، وانتشرت في جميع
القارات في الكريتاسي الاوسط (الشكل ٢٢ - ٤٠) .

وقد حدثت انقراضات عديدة في الحيوان والنبات بالقرب من نهاية الترياسي
وعلى وجه التقريب عند نهاية الحلقة الخامسة . فقد انقرض ما يزيد على عشرين
عائلة امونايت ما عدا عائلة واحدة ، استمرت ليخرج منها العديد من الامونايت

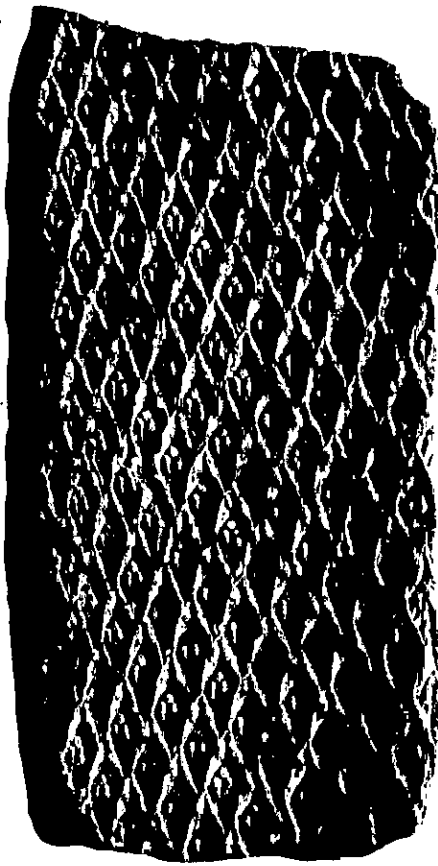


الشكل (٢٢ - ٢٨) : يبين اعادة بناء مستنقع للفحم من العصر البنسلفاني كما يلي
(١) نبات ليبيدونودون . (ب) نبات السيجلاريا Sigillaria ، ومعها الصرصور
الكبير الحجم . (ج) يسمى الكلاميت Calamites . (د) يعسوب كبير .
(الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

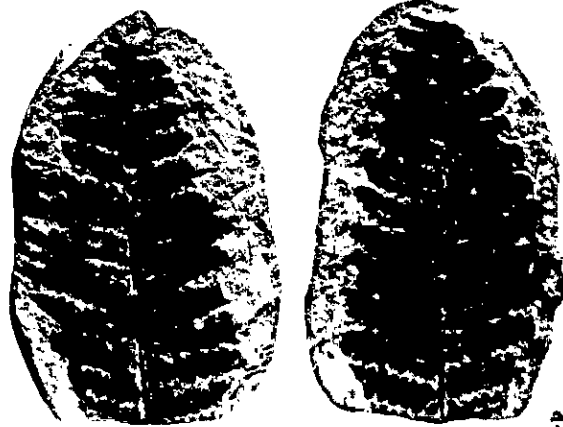
المختلفة في الجوراسي . وانتشرت الداينصورات ايضا في الترياسي . وقد
ظهرت في اواخر الترياسي لأول مرة ثم ما لبثت ان اصبحت المجموعة السائدة
على اليابسة .

يرجع اصل الداينصورات ، كما هو الحال في جميع الزواحف ، الى السيموريا
(الشكل (٢٢ - ٢٤)) . وتعتبر زواحف البيرمي المبينة في الشكلين (٢٢ - ٤١)
و (٢٢ - ٤٢) الخط الاخر الذي انطلق من السيموريا . وتطورت من زواحف
البيرمي هذه ، ثدييات مشابهة لها ، ما لبثت ان تطورت الى ثدييات حقيقية
بالقرب من نهاية الترياسي .

ان الداينصورات ، او السحالي الخيفة ، كانت على هيئة نوعين مختلفين
من الزواحف تطورا من الثيكودونت (٧١) (الشكل (٢٢ - ٤٣)) . وكانت مجموعة



ب



الشكل (٢٢ - ٢٩) : عبارة عن مستحاثات نباتية من العصر البينساغاني .
(١) - نبات الليبيدودندرن . و (ب) - نبات السيجيلاريا وهي اجزاء من ساق عليها
علامات من اوراق الشجر . (الصورتان من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) . (ج) -
Asterotheca miltoni وهي ورقة نبات سرخس . (الصورة من مؤسسة وورد للعلوم
الطبيعية في روتشمستر بولاية نيويورك .

الجدول (٨ - ٢) : المعدل التقريبي للمواد المذابة في الأنهار العالمية :

جزء بالمليون	٥٨٤	بايكربونات
جزء بالمليون	١٥	كالسيوم
جزء بالمليون	١٣١	سيليكا
جزء بالمليون	١١٢	كبريتات
جزء بالمليون	٧٨	كلور
جزء بالمليون	٦٢	صوديوم
جزء بالمليون	٤١	مغنيزيوم
جزء بالمليون	٢٣	بوتاسيوم
جزء بالمليون	١٠	نترات
جزء بالمليون	٧	حديد

وأما الحمولة العالقة فتتكون من الذرات الدقيقة التي اذا وصلت الماء لا تترسب الا ببطء شديد مما يجعلها عرضة للانتقال مع الماء الى مسافات بعيدة . وعندما تزداد سرعة جريان الماء تتعلق الذرات الدقيقة الموجودة مع حمولة القاع وتصبح في عداد الحمولة العالقة فيصبح التمييز بين النوعين من الحمولة وقتيا فقط والمواد العالقة في الماء هي التي تجعل النهر طينيا ، وسبب ذلك هو ان الذرات المكونة للطين بطيئة الترسيب للغاية فلها تحمل لمسافات بعيدة نسبيا ، هذا في حين يترسب الغرين (هـ) بسرعة اكبر بحيث لا يكون في عداد الحمولة العالقة الا بوجود تيارات مائية من القوة بحيث تمنعه من الترسيب. ولهذا فان المواد الطينية تثقل لمسافات ابعد من الطمي فينتج عن ذلك تجزئة الأنهار للحمولة أي تصنيفها. وتقدر كميات المواد العالقة بحوالي ثلثي الحمولة الاجمالية للأنهار فتصل الى اكثر من ٢٥ مليار طن سنويا في جميع انهار العالم .

وأما حمولة قاع النهر فتتكون من المواد التي تنتقل على سطح القاع إما بالتدحرج أو بالانزلاق . وهذه ايضا تكون مصنفة حسب احجامها وفيها تتأكل الذرات بالكحت (٦) مما ينتج عنه تحويل اشكال الحصى في قيعان الأنهار النموذجية الى شبه كروية وبالإضافة الى الكحت والذوبان (٧) فان الحصى تتشقق احيانا وتتكرر عند اصطدامها ببعضها ابان حركتها . وتكاد تكون حركة حمولة قاع النهر في معظم الاحيان ناجمة عن ازدياد سرعة الجريان وذلك في فترات الفيضان القصيرة ولهذا فان الفيضانات التي تحدث عادة موسميا تشل

اوقات حركة حمولة قاع النهر . وفي بعض الانهار تساوي نسبة الجريان العظمى الى الصغرى عدة مئات الى واحد . وعموما نجد من الصعب التخيل بأن النهر الصغير خاصة في فصل الصيف او الخريف يقدر على تحريك جلاميد الصخر (٨) الكبيرة فيجعلها جزءا من حمولة القاع التي تنتقل من مكان الى مكان (انظر الشكل (٨ - ٦)) فعلى المرء ان يتذكر ان الجلاميد الضخمة لا يمكن تحريكها الا اثناء الفيضانات الكبيرة التي قد تحدث بضع مرات خلال قرن كامل . ومع هذا فإنه اذا ذهب شخص لنهر ما خلال فصل الربيع عندما يكون مليئا بالمياه القادمة من الثلوج الذائبة فإنه يستطيع سماع اصطدام الحصى والجلاميد ببعضها فسي



الشكل (٨ - ٦) : نهر في حالة منسوب المياه المنخفض ، ويبدو جزء من حمولة القاع مكشوفة وهي التي تتحرك عادة خلال اوقات التصريف العالي .
المجرى ، ان حمولة القاع النهرية في معظم الانهار تساوي حوالي ربع الحمولة النهرية الاجمالية او اقل من ذلك وأن حجم الجزيئات الاقصى التي يمكن أن

يسحبها النهر يتناسب طرديا مع مربع سرعته ولهذا فان مضاعفة السرعة تعني الزيادة اربع مرات في حجم المواد المنجرفة وبشكل عام فان مضاعفة السرعة هذه تزيد من قدرة النهر على مضاعفة محبه للجزيئات اربع مرات الى ثماني مرات وفي الشكل (٨ - ٢) رأينا كيف تكون حركة حمولة القاع النهرية اثناء ارتفاع منسوب المياه وعلاقة ذلك بحجم الجزيئات وشكل المجرى .

ان كيفية الحث بواسطة الانهار تتم بعدة طرق سبق وأن تكلمنا عن بعض منها اثناء بحث موضوع النقل فاذا كانت اجزاء من المجرى مكونة من مواد قابلة للتذوب فانها تذوب بالماء ونحصل على الحث بالاذابة. أما الكحت او الانسحاج فينتج عن احتكاك القطع الصخرية مع جوانب او قاع الاخدود ، وهناك نوع معروف من الانسحاج يؤدي الى تكوين فجوات اسطوانية الشكل تسمى الفجوات الدوامية (٩) ، في صخور قاع النهر تنشأ على ما يبدو بفعل التيارات القوية في النهر (الدوامات) (انظر الشكل (٨ - ٧)) . وتتكون هذه الفجوات ايضا بالتجويف



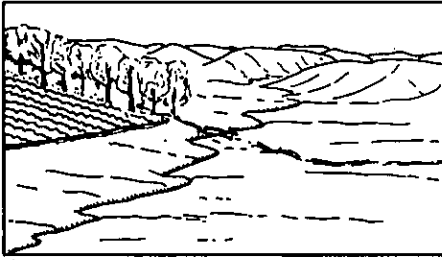
الشكل (٨ - ٧) : فجوات دوامية في قاع النهر منحوتة في الصخور الجرانيتية .
وتتكون هذه خلال اوقات الجريان السريع جدا .

او حث الفتاقيع وهذا النوع من الحث يتسبب في حدوث مصاعب لمراوح السفن النهرية وغيرها من الالات ويتم عندما يهبط ضغط الماء الداخلي نتيجة ازدياد

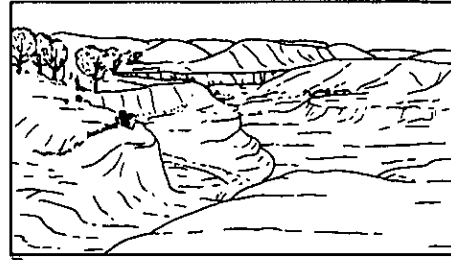
مفاجيء في سرعة الماء فتتكون الفقايع وهذه تتفجر في الداخل اذا انخفضت السرعة محدثة بذلك موجات ارتجاجية تسبب هذا النوع من الحت .
ويحدث التجويف في اسفل المساقط المائية احيانا علما بأن الحت في مثل هذه الاماكن ناتج اساسا عن حركة المياه نفسها اذ أن الاصطدام وجريان الماء بعدئذ يمثلان عاملين اساسيين في الحت ونقل الفتات الصخري . وكما قلنا سابقا فان احجام القطع المفتتة القابلة للانتقال تتناسب طرديا مع مربع سرعة جريان الماء . ومهما يكن من امر ، فانه من اجل حث الصخور الطينية الصلبة ، ذات الوجه الاملس مثلا لا بد من سرعة جريان كافية لسحب ذرات الرمل او ما هو اخشن منها .

ويقاس معدل حث القارات عادة بمقدار ما تحمله الانهار منها للبحار . ومعدل الحث في الولايات المتحدة الذي اخذ بهذه الطريقة يساوي ٢٤ بوصة خلال الف سنة . وكان ادنى معدل قد وصل الى ١٥ بوصة / الف سنة في حوض نهر كولومبيا بينما وصلت اكبر نسبة الى حوالي ٦٥ بوصة / الف سنة ، في نهر كولورادو . واما معدل الحث نفسه فيعتمد على عدة عناصر كالمطر والقيح والغطاء النباتي ولكن مما تجدر الإشارة اليه أن اكبر معدل من الحث يحدث في المناطق التي تصل فيها الامطار الى عشرة بوصات في العام (انظر الشكل (٨ — ٨)) .
وعملية الحث بطبيعتها هي عملية تعميق وتوسيع وكذلك تطويل لمجرى النهر . وقد رأينا سابقا كيف يستطيع النهر تعميق اخدوده . فعند المنبع أن حدود اي انحدار يعني ازدياد طول المجرى وهذه العملية تسمى الحث باتجاه المنبع ، وهي الطريقة التي يشق بها النهر مجراه الى الداخل (انظر الشكل (٨ — ٩)) .
اما كيفية حدوث التوسع في المجرى فذلك يمكن باحدى الطريقتين التاليتين .
اولا : عملية التوسع بانزلاق الجوانب او زحفها (انظر الشكل (٨ — ١٠)) .
ثانيا : التوسع الحاصل عن جرف الجوانب بواسطة النهر نفسه ، وهذا الثاني يحصل بالدرجة الاولى على الجوانب الخارجية من منحنيات المجرى حيث يحدث انجراف الاجزاء السفلية من الحائط الجانبي .

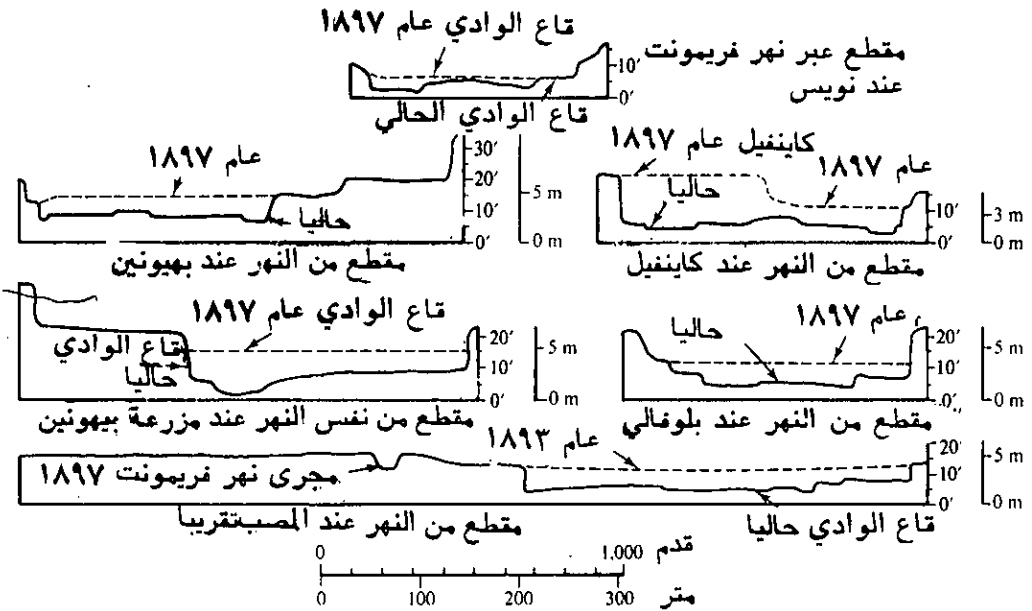
ولهذا فان النهر المنعطف يتسع مجراه . وهناك القليل من الانهار التي تبقى مستقيمة على مسافة يزيد فيها طول الجزء المستقيم من النهر عن عشرة اضعاف عرضه . ان وجود اي عائق في قاع النهر او على جانبه يؤدي الى انجراف في



A.



B.



الشكل (٨ - ٨) : أمثلة على الحت النهري من منطقة جبال الهيري (يوتا) منذ ١٨٩٧ . أما السبب المحتمل لهذه التوعية من الحت فيمكن في التفريعات الجوية . ويتضح من الأجزاء ١ و ٢ موقع بليزانت كريك عند نوتوم . وينخفض هذا الموقع في ب عشرين قدما . أما الجزء ٣ فيحتوي على مجموعة من المقاطع من نهر الفريمونت .

مسار الماء مما ينتج عنه تكوين المنحنى وعندئذ يأخذ المجرى في الاتساع جانبا اذا يمتد منعطفه أو « يهاجر » (انظر الشكل ٨ - ١١) . وفي كثير من الأنهار تبرز صفة التشابه في المنحنيات فتسمى الأنهار المنعطفة (١٠) أو المنعطفات (انظر الشكل (٨ - ١٢)) . وأما الشكل (٨ - ١٣) فيبين كيفية هجرة المنعطفات وكيف يمكن أن تتقاطع مكونة بحيرات تشبه في شكلها قرني الثور . وتسمى بالبحيرات المتقوسة المتخلفة (١١) .

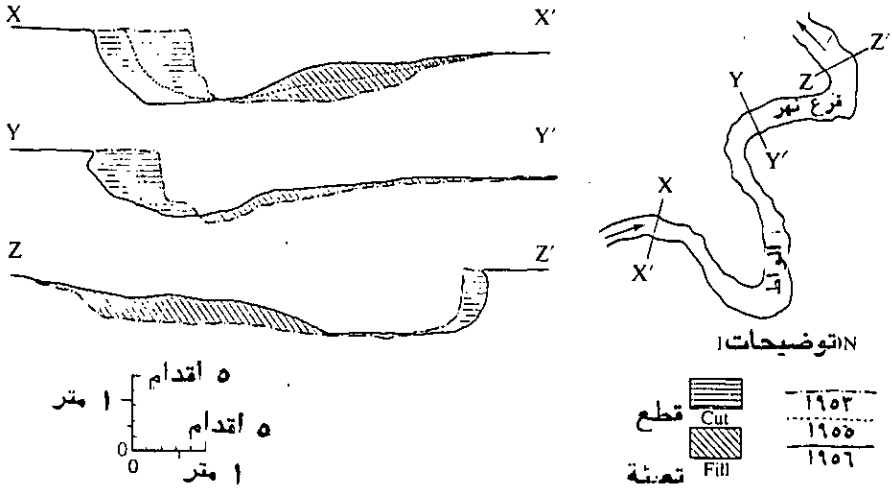


الشكل (٨ - ٩) : أن
الإخدوين في مقدمة هذا
النظر المائل يثقلان
استطالة بواسطة الحث
التراجعي باتجاه المتبع .
وقد يستطيع الوادي
الأكبر أثر الجري
الموجود في وسط
الصورة مستقيلاً .

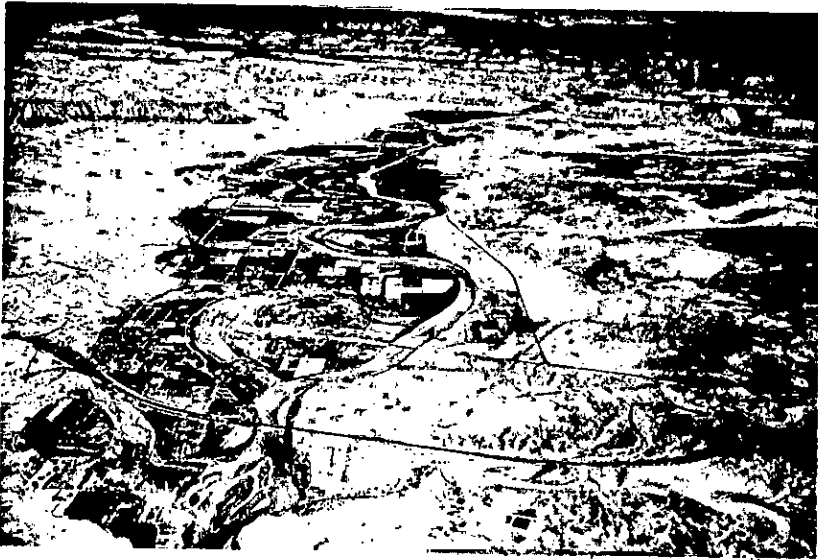


الشكل (٨ - ١٠) : ازدياد في عرض مجرى النهر بواسطة انزلاق بسيط . وقد سبب
الانزلاق في هذه الحالة اندلاع نار في الغابة مما أدى الى زوال النبات .

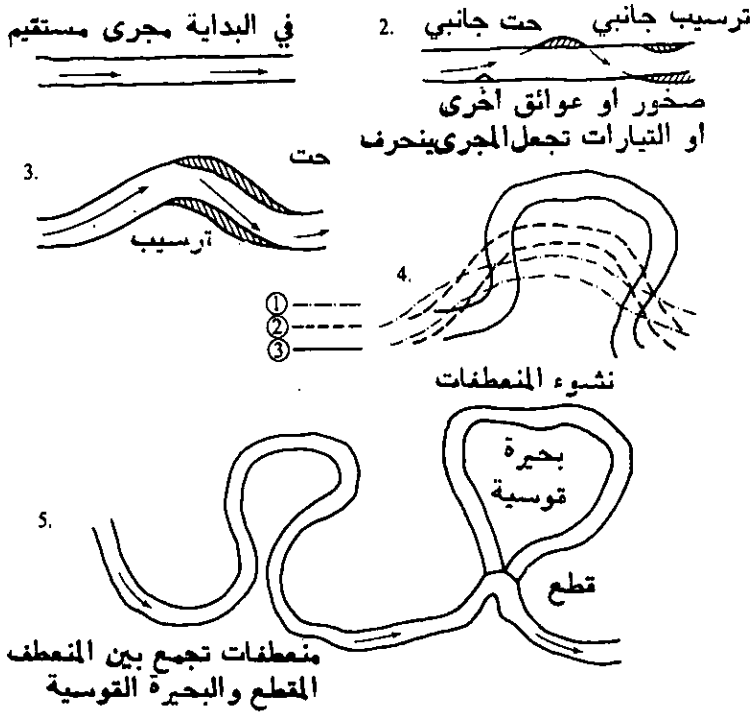
وتختلف المنعطفات في كيفية نشوئها عن المنحنيات غير المنتظمة . فالمنحنيات
التي تتسبب في تكوين المنعطفات هي من غير المألوفة التي تشبه انصاف الدوائر
وتتميز بتوزيع طاقة النهر . وبشكل منتظم في حين يعمل اي منحنى اخر على
تركيز ما يحته او يفتته في نقطة ما على المنحنى . (وسنفصل فيما بعد كيفية
تطور اخاديد الانهار بوسائل الحث هذه) .



الشكل (٨ - ١١) : الحت والترسيب على فرع نهر الواط قرب روكمتيل ، ماريلاند .



الشكل (٨ - ١٢) : منغطفات نهريّة في نهر الجرين رفر في يوتا . منغطفات نهريّة مقطوعة وأخرى قديمة تبين حركة النهر على السهول الفيضانية . نظرة للشمال باتجاه المنبع حيث جدار البوك .



الشكل (٨ - ١٣) : تطور المنعطفات النهرية .

النظام النهرى

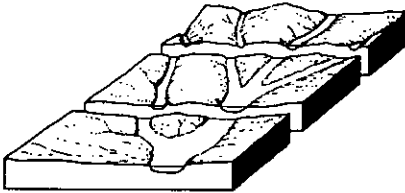
The river as a system

ان الانهار لا توجد في الطبيعة مفردة وانما يكون لها روافد ولهذه بدورها روافد اصغر وهكذا حتى تصل الى الجداول الصغيرة .
 وكل هذه الاجزاء تشكل بمجموعها نظاما نهريا (١٢) او حوض تصريف (١٣) .
 واي تغير يطرا على اى جزء من هذا النظام يؤثر بدوره على الاجزاء الاخرى بشكل عام ومن الادلة الواضحة على هذا التوازن ان جميع روافد النهر تلتقي به على مستوى معين وهو مستوى المجرى الرئيسي دائما وهذه المطابقة في مصبات الروافد تدل على شمولية في النظام ليست من قبيل المصادفة فهي لا توجد في مناطق الزاحفات الجليدية حيث يتغير مستوى مجرى النهر بفعل الحت الجليدي) .

ان مهمة النهر الاساسية هي نقل الركام (الفتلت) الصخري . والانتظمة النهرية تعد نفسها لهذا الغرض بحيث تكون قادرة على نقل اي حمولة تصل اليها . ويحدث هذا عادة بتغيير المنحدر النهرى وذلك اما بالحت او بالترسيب منه بحيث تاخذ سرعة الماء في اي مكان من النهر القوة اللازمة لصرف كمية المياه الموجودة مع حمولتها في نطاق الاخدود النهرى المحدد للمجرى . ولهذا فان اي تغير جزئي في النظام يؤثر عليه كلية . والنهر الذي له القدرة على نقل جميع ما يصل اليه من حمولة سواء الناتجة عن حته لمحيطه مباشرة او التي تصله من الانزلاقات من المنحدرات او الناتجة عن هطول الامطار يسمى بالنهر المتدرج (١٤) .

وتجدر الاشارة الى ان هذه الصفة انما هي على المدى الطويل ، لانه لو اخذنا قطعة من نهر ما في فصل ما فقد نجدها تنحت في الصخر اخدودها ثم هي في فصل اخر تلتقي في قاعه رواسب وهذا الاختلاف في الادوار يتغير من سنة الى سنة تبعا لتغير العوامل الجوية كمقدار الامطار وكثافتها .

بعد هذا اصبح باستطاعتنا القاء مزيد من الضوء على المقاطع الطولية للأنهار وكيفية تشكيلها وهذا ما سبق أن الحنا اليه (انظر الشكل (٨ - ٥)) . فيجب أن يكون المتدرج عند المتبع سحيقا لكي يستطيع النهر القيام بعملتي الحت والنقل رغما عن قلة الموارد المائية المتاحة . وكلما هبط المجرى ازدادت سرعة الماء وكميته وصغر كذلك حجم الفتات المنقول ونقص عدد الحواف النهرية (انظر الشكل (٨ - ١٤)) . وكل هذا يجعل النهر قادرا على القيام بمهامه على منحدر



الشكل (٨ - ١٤) : يقل عدد الارصفة النهرية باتجاه اسفل النهر فيقل بذلك الاحتكاك.

اقل ميلا وان تكن الحمولة الاجمالية قد ازدادت ولهذا فان شكل المنحدر النهرى المحدب هو اكثر الاشكال ملائمة لبذل طاقة لكل وحدة طولية هي اكثر ما

يكون انتظاما واقل ما يكون مقدارا .
والمقاطع الطولية في معظم الانظمة النهرية اكثر تعقيدا مما ذكرنا لان قدرة
النهر على الحث والنقل تعتمد بشكل عام على سرعته ومقدار ما يجري به من ماء
وكذلك على مقدار الانحدار وعلى شكل ودرجة خشونة الاخدود . وعند التقاء
احد الروافد مع النهر الرئيسي فان النسق العام في النهر الرئيسي يتغير فجأة
لازدياد حجم المياه وازضافة حمولة الرافد مما يجعل النهر يعمل ميل منحدره
لاستيعاب المواد الاضافية وهو ما يظهر في المقطع الطولي النهرى .
اما اقصى مستوى من النحت يستطيع النهر الوصول اليه فهو ولا شك
مستوى ارتفاع مصبه ويسمى « بالمستوى الأدنى » (١٥) (انظر الشكل (٨-٥) .
والمستوى الأدنى لمعظم الانهار الكبيرة هو مسفوى سطح البحر بينما هو لمسي
الانهار التي تصب في بحيرات داخلية مستوى ارتفاع سطح تلك البحيرات . اما
في الروافد فهذا السطح هو مستوى الارتفاع عند نقطة التقائها مع الجرى
الرئيسي الذي تصب فيه .

الترسيب

Deposition

قليلا ما نجد صخورا رسوبية نهرية الاصل (١٦) لان حمولة الانهار تصل عادة
للبحيرات او المحيطات . ولكن الحمولة النهرية تترسب بشكل الدلتا عادة حيث
يصل النهر منطقة مياه ساكنة وحتى في هذه الحالة فعليا ما تعود الحمولة
للتنقل من جديد بفعل التيارات البحرية فتصبح الترسبات عندئذ ترسبت بحار
او بحيرات . اما الدلتا فتكون لتباطؤ سرعة مياه النهر عند المصب وفجأة تدخل في
نطاق المياه الساكنة وحينئذ تتساقط حمولة القاع النهرية مترسبة بينما تستطيع
الحمولة الذائبة والمعلقة الاستمرار في الانتقال بعيدا في البحر (انظر الشكل
(٨ - ١٥)) وهناك المراحل الركابية (١٧) وهي تشبه في تكوينها الدلتا وتنشأ

15. Base Level

16. Fluvial Rocks

17. Alluvial Fans



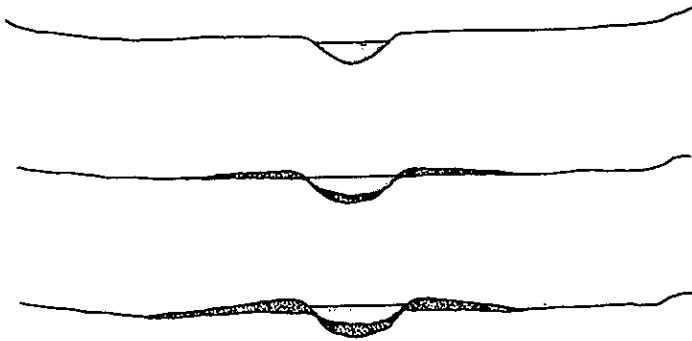
الشكل (٨ - ١٥) :
صورة أدلتنا نهر النيل
أخذتها جيمني ٤ .
ويمثل اللون الداكن فيها
المناطق الماهولة . ويبدو
البحر الأبيض المتوسط
الى اليسار وفي الوسط
تظهر شبه جزيرة
سيناء .

عند خروج الجداول من الجبال الى السهول الواسعة حيث تصبح الاودية
منبسطة وهكذا يتباطأ جريان المياه في مجاريها مما ينتج عنه ترسيب الحمولة .
وعلاوة على ذلك فان هذه الجداول الجبلية لا سيما في المناطق الجافة تغور في
ارض الاودية الكبيرة ، ولان الجدول يتحول مجراه بانتظام حول المراحل الركابية
فان هذه تتخذ شكلا مخروطيا (انظر الشكل (٨ - ١٦)) .

الشكل (٨ - ١٦) : مراحل ركابية عند
مصب الكافون .



وعندما يمتليء مجرى النهر بالماء حتى حوافه فان اي زيادة في المنسوب تتسبب في حدوث فيضان فيمتليء الوادي الذي يحتوي المجرى بالمياه المتدفقة وعندها يكون الحث والنقل بواسطة النهر في اقصى نشاطهما وحالما تنتشر كميات المياه المتدفقة على الجوانب تنخفض سرعة المياه الجارية الى حد كبير فتترسب الحمولة على الحواف مكونة ما يسمى بالرواسب الحاجزية (١٨) او السدود الطبيعية لتمييزها عن السدود الاصطناعية التي يبنها الانسان للحماية من الفيضانات (انظر الشكل (٨ - ١٧)) ومع ان الرواسب الحاجزية تساعد في ابقاء النهر محصورا بين حافته الا ان المنطقة الواقعة بينها وبين المنحدرات المطلة على النهر قد تكون منخفضة في مستواها عن مستوى ارتفاع الرواسب نفسها ابان الفيضان فتصبح مغمورة بالمياه اذا ما ارتفع منسوب النهر عن مستوى قممها الحاجزية . وبما ان مناطق اودية الانهار تعتبر اراضي زراعية من الدرجة الاولى وبما ان عملية تكوين الرواسب الحاجزية بحد ذاتها تمنح فرصة لتزويد هذه الاراضي بالاتربة الجديدة فان الناس يتقبلون العيش في تلك المناطق رغم خطورة الفيضانات التي تحدث بشكل متعاقب . وعلى هؤلاء المزارعين توقع الفيضانات في الربيع كما هي عادة الانهار بشكل عام . والى حد ما يمكن حمايتهم ببناء السدود ضد الفيضانات . تلك السدود التي تنظم عملية تصريف المياه اثناء وقت الفيضانات الا ان ذلك باهظ التكاليف وجدواه الفعلية غير تامة .



الشكل (٨ - ١٧) : الحواجز الطبيعية النهرية . المقياس الراسني مضخم .

معيّنة وخاصة اذا كانت حمولة النهر تشتمل على مواد كبيرة الحجم بحيث لا يتناسب حجمها مع طاقة النهر التصريفية او مع ميل المنحدر النهري اذا كان بسيطا او اذا كانت حواف النهر سهلة الانجراف . ويتميز هذا النوع من الانهار في ان النهر يتفرع ويتجمع اخذوده عدة مرات (انظر الشكل (٨ — ١٩) . ويبدو



الشكل (٨ — ١٩) : النهر المتشعب . منظر عامودي من الجو لنهر نورث بلاث ، نبراسكا .

ان اول ما يترسب من الحمولة المواد ذات الحجم الكبير ليصبح المنحدر النهري بذلك اعمق فيمكن نقل الحمولة الباقية بسهولة . وهذه طريقة في الترسيب تجعل النهر يتسع مجراه نسبيا . اثناء ذلك ينحت جوانبه فتزداد الحمولة مما يجعل المجرى يغص بالترسبات . وعندما تلتقي قناتان في المجرى تزداد كمية المياه المتدفقة ويسهل الجريان وفي مثل هذه المقاطع من النهر تزداد حركة حمولة القاع النهرية فينخفض مقدار ميل المنحدر وهكذا تبدأ المواد بالترسب من جديد ومع هذا فان الحمولة بهذه العملية تكون قد انتقلت من مكانها ولو لمسافة قصيرة .

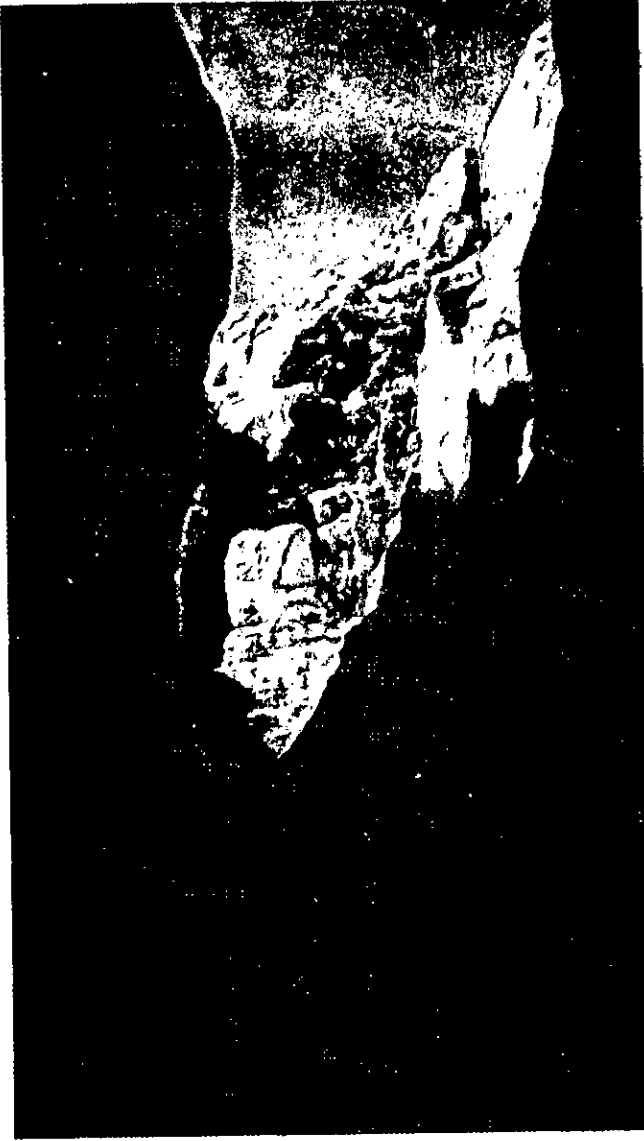
الادوية النهرية

River valleys

من الادوية النهرية ما هو ضيق ومنها ما هو عريض ومنها ما هو متوسط بين هذا وذاك . اما الادوية الضيقة فلا يزيد عرضها كثيرا عن اخدود النهر الذي يجري بها بينما يكون المقطع في الادوية العريضة اكبر بكثير من النهر، وعادة ما تجد الادوية الضيقة التي يأخذ مقطعها شكل V مصاحبا للانهار حديثة التكوين وكثيرا ما يكثر هذا الشكل قرب منابع الانهار ولو أن وجوده غير مرتبط بذلك . وبشكل عام (ولكن ليس دائما) يعني هذا اختراقا عاموديا للصخر فنحصل بذلك على الانهار غير المتدرجة ، وفي بعض الصخور الصلبة لا يستطيع النهر أن ينحت من الجوانب بقدر ما يفعله عاموديا فتتكون الادوية الضيقة مصحوبة بالمساقط والشلالات حيثما وصل مجرى النهر الى تلك الطبقات الصخرية الشديدة الصلابة وفي تلك الادوية الضيقة تتجمع المياه احيانا بشكل بحيرات ولكنها لا تدوم طويلا مثلها في ذلك كمثل المساقط المائية والشلالات (انظر الاشكال (٨ - ٢١) و (٨ - ٢٢) و (٨ - ٢٣) و (٨ - ٢٤) . وبعد أن يصل النهر مرحلة معينة من حياته يأخذ واديه بالاتساع حيث يتوقف النحت العامودي . وهذا ما يبدأ عادة عند مصب النهر في معظم الحالات حيث يكون حجم التصريف كبيرا فيصبح النهر اقدر على الحت والتعرية وهكذا نجد فيضانات واسعة . تتميز هذه الاجزاء السفلية من الانهار عن اجزائها العلوية (انظر الشكل ٨ - ١٢) ويحدث مثل هذا ايضا في المناطق ضعيفة الصخور بشكل عام . ولذا يكون المقطع العرضي في مثل هذه الادوية العريضة منبسطا الى حد ما . كما أن من مميزات وجود المنعطفات النهرية فيها وخاصة اذا كانت الحواف النهرية رسوبية رملية الاصل ومتجانسة .

ويحدث احيانا أن تتعاقب في الادوية النهرية كل من المنعطفات والمنحنيات غير المنتظمة كما أن هناك خاصية أخرى معروفة لدى صيادي الاسماك ، وهي تعاقب مرتفعات قاع النهر (٢٠) والبرك النهرية في معظم الانهار وهي مرتفعات

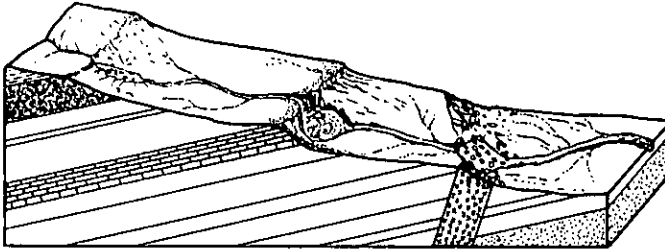
الشكل (٨ - ٢٠) :
خندق ضيق جدا جدرانته
مقطوعة في الصخر
الرملي عاموديا تقريبا .
ان الحت الراسي كان
على ما يبدو انزعج من
انتقال المواد ولذا لم
تتشكل جوانب الوادي.



تتكون على جهات متعاكسة من جوانب المجرى من مواد حمولة القاع النهرية ذات الحجم الكبير (انظر الشكل (٨ - ٢٥)) . ويستفاد من دراسة الاودية النهرية لمنطقة ما في استنباط التاريخ الجيولوجي لها . فمثلا يمكن اثبات حركة منطح الارض الى أعلى اينما وجدت الاودية النهرية لان هذه الاودية تستمر في الاتساع كلما تقدمت التعرية . ولهذا فان وجود اخدود ذي شكل ٧ ضمن الاطار لواد عريض وكبير لهو اشارة واضحة على حدوث تغير في حياة النهر



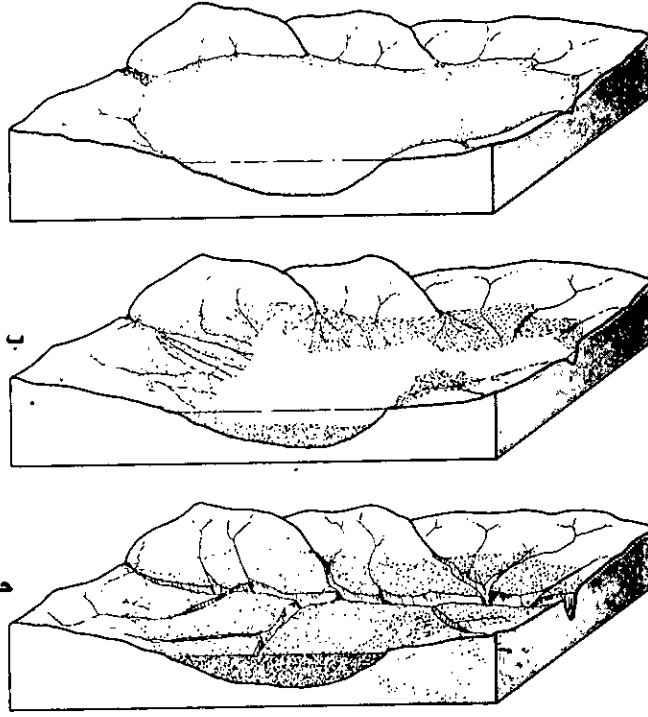
الشكل (٨ - ٢١) : نهر اليلوستون في حدائق اليلوستون برك القومية ، وتبدو هنا المساقط والشلالات .



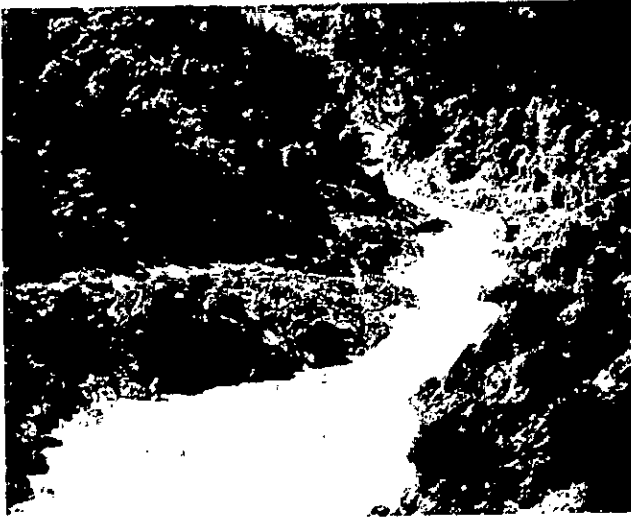
الشكل (٨ - ٢٢) : نموذج مجسم يبين كيف تتسبب الصخور القاسية في تكوين المساقط والشلالات .



الشكل (٨ - ٢٣) : نهر الروج ، أوريجون ، حيث كون مجرى ضيقا على شكل ٧ في صخور قاسية عند هذا المكان .



الشكل (٨ - ٢٤) : ثلاثة مراحل في حياة بحرة : (ا) - البداية ، (ب) - لقد امتلأت البحيرة جزئياً بالرسوبيات النهرية ، (ج) - بعد أن امتلأت البحيرة تماماً قطع النهر طريقاً له عبر البحيرة المبتللة .



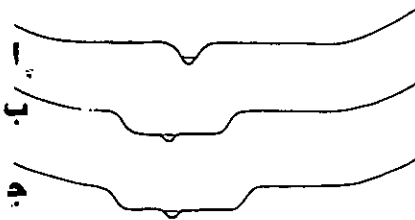
الشكل (٨ - ٢٥) :
وادي لنهر ضيق على
شكل ٧ ، وية مرتفعات
قاع النهر وكذلك
بهرات .

مما جعله يشق لنفسه اخدودا عميقا كما ذكرنا (انظر الشكل (٨ - ٢٦)) .
ويعود السبب في هذا التغير لاحد العوامل الثلاثة : حركة سطح الارض عاموديا



الشكل (٨ - ٢٦) : في هذه الصورة المأخوذة من الجو لنهر السنك على الحدود بين أوريغون وايداهو نرى نهرا يشق طريقه حديثا في مجرى واد عريض موجود سابقا .

الشكل (٨ - ٢٧) : الرفع على مراحل



ادى الى تكوين واد ذو شرفات : (١) - في البداية يؤدي الرفع الى شق واد على شكل ٧ ضمن مجرى عريض . (ب) - مع استمرار الحت يصبح مجرى النهر عريضا . (ج) - ثم يؤدي الرفع من جديد الى شق حديث في العمق . وفي النهاية يقضي الحت على الشرفات القديمة مما يجعل الاطلاع على تاريخ النهر امرا غير ممكن .

الى اعلى او تغيير في الطقس ، وارتفاع كمية التصريف فجأة عندما يصل للمجرى مياه كانت محجوزة (سنناقش هذا الموضوع فيما بعد) او اي سبب اخر . وان لم يستجد اي تغيير فان الوادي الجديد يأخذ بالازدياد اتساعا طالما ان الحت مستمر فتزول مظاهر الادلة على نشاط النهر تاريخيا . ومع رفع منطقتين من النهر من جديد الى اعلى تعود ظاهرة تشكيل وادي النهر على هيئة ٧ مرة اخرى للبروز وبهذه الطريقة يتكون ما يسمى بالمصاطب (أو الشرفات) النهرية (٢١)

(الشكل ٨ - ٢٧) ، وفي حالة تحول حركة سطح الارض العمودية الى اسفل فان الاودية النهرية تصبح اماكن للترسيب فيها بعد أن كانت معرضة للحت وفي بعض الحالات نستدل على حركة الارض الراسية الى أعلى من تضاريس الاودية التي تأخذ الشكل ٧ رغم احتوائه على المنعطفات والسبب في هذا ان الحركة تتم ببطء شديد الى حد يستطيع معه نهر متعرج ممتد في واد عريض ، المحافظة على هيكله العام (انظر الشكل ٨ - ٢٨) .



الشكل (٨ - ٢٨) : منعطفات نهرية عميقة على نهر جراند روند في ولاية واشنطن .
تشبه الملامح النهرية العريضة تلك الخاصة بالمنعطفات الضيقة ويدل وجود التكوين الذي يأخذ
الشكل ٧ كما هو ظاهر هنا على حدوث تغيير في النظام النهرى . ويعود ذلك الى حدوث رفع
طنسف .

أنظمة التصريف

Drainage patterns

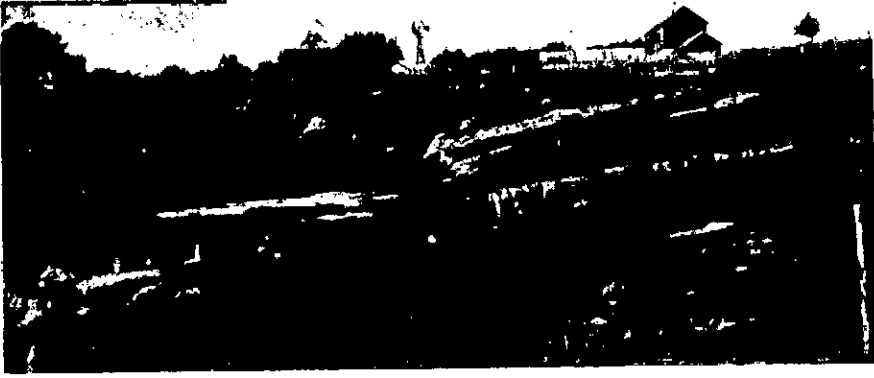
ان نشوء نماذج التصريف في منطقة ما يعد جزءا مهما من تاريخ الجب فيها .

وبعض الطرق التي تستخدمها الانهار في ذلك يمكن رؤيتها في الطبيعة مباشرة .
ولكن بما ان العمليات الجيولوجية تجري ببطء ضمن الازمنة الجيولوجية فان علينا
ان نتمثل معظم تلك الاحداث في تصورها . ففي البداية تجري المياه المنطلقة
على سطوح المنحدرات غير المنتظمة في قنوات مائية صغيرة ثم تستمر عملية
الحت في هذه القنوات اثناء مرور المياه منها فتتسع ويزداد عمقها تدريجياً
لتصبح احداها رئيسية لجريان الماء فيها اكثر من غيرها وتسمى عندئذ خندقاً (٢٢)
ومن الممكن رؤية تطور هذه الخنادق في كثير من الصخور المكشوفة (انظر الشكل
(٨ - ٢٩) وعلى السطوح المحروثة من الارض حيث يتم القضاء بذلك على



الشكل (٨ - ٢٩) :
قنوات تكونت في سطح
تعرى الان . وهي تعود
الى رسوبيات جليدية في
ايوا .

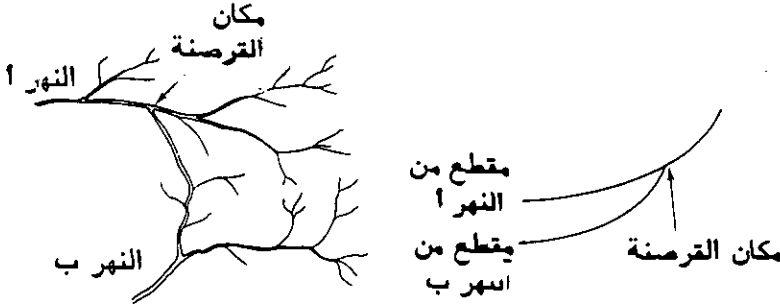
النباتات التي تحمي الارض من الحت (انظر الشكل (٨ - ٣٠)) فيتم تطور
هذه القنوات لذلك بالحت الراسي في الصخور وبتجاه القمة عادة فتشق القناة
ذات اكبر كمية من المياه مجراها خلال فترة قصيرة مما يسارع بالحت في اتجاه
القمة مستعينة لذلك بفروعها الاصغر التابعة لها .
وقدرة القناة على زيادة طولها بواسطة الحت في اتجاه القمة تمكنها من أسر



الشكل (٨ - ٣٠) : قنوات شقت على سطح رملي مائل خلال فترة عامين بوسكنسن .

مياه القنوات التي تقطعها مما يزيد في مساحة منطقة التصريف للقناة الرئيسية ويعجل في عملية نحتها . ثم تستمر عملية الاسر هذه ، وهي المسماة بالقرصنة النهرية (٢٣) حتى تتطور هذه الى خندق ثم اخيرا تصبح مجرى رئيسيا (انظر الاشكال (٨ - ٣١) و (٨ - ٣٢) .

اما تطور الانظمة النهرية فانه يتم بعدة طرق . فمعظم هذه الانظمة تورث غالبا من مرحلة سابقة في تطور المنطقة بناء على التركيبات الجيولوجية للصخور الاساسية (التحتية) وعلى التغير في مستوى الارتفاعات . ولكن هناك عناصر اخرى تلعب دورا في تكوين الانظمة التصريفية وهي : العوامل الجوية والماء الجاري والغطاء النباتي . وفيما سبق من وصف انطلقنا من السطوح الملساء



الشكل (٨ - ٣١) : قرصنة نهرية من النوع الشائع . ان الاختراق السريع للروافد الصغيرة المغطاة بالنهر ب نجمه يأسر مياه النهر أ عند منبعه . ويبين الشكل السفلي خط انحدار النهرين عند نقطة الاسر .

واعتبرناها ارتفعت راسيا الى اعلى ولكن في الحقيقة غالبا ما يكون هذا الوضع محدودا في الطبيعة . ويستطيع المرء تصور ارتفاع سطح ما الى اعلى ببطء



الشكل (٨ - ٢٢) : مثال على القرصنة النهرية يظهر في هذه الصورة المأخوذة من جمني للجزء الجنوبي من شبه الجزيرة العربية . ويبدو في المؤخرة خليج عدن . ويبدو في مقدمة الصورة وادي حضرموت متجها الى اليمن حيث المجرى العريض هناك . ان الكثير من الروافد تجري باتجاه اليسار . الا ان اتجاهها يتغير فجأة فتنعكس عندما تصل حضرموت . ومثل هذه الانعكاسات تعتبر شائعة حيث تحدث القرصنة النهرية .

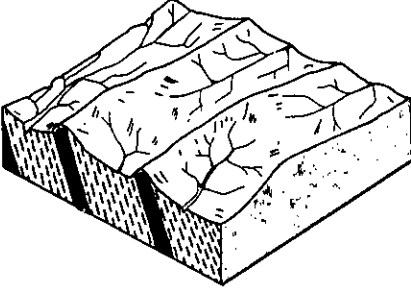
شديد بحيث تصبح المجاري البدائية للانهار خنادق . ولهذا فانه اذا ما حدث ارتفاع في سطح الارض سواء كان سريعا ام بطيئا وبازدياد في التسارع او بتباطؤ فيه فان اي من هذه التغيرات يؤثر على سير عملية الحث في منطقة ما بشكل او باخر . اما كيفية تأثير كل هذا على شكل سطح الارض العام فسيكون موضوع البحث في البند القادم .

ويظهر تأثير التركيبات الجيولوجية للصخور الاساسية على الانظمة النهرية جليا في كثير من الاماكن ، ففي المناطق ذات الصخور المتجانسة تتفرع الاودية

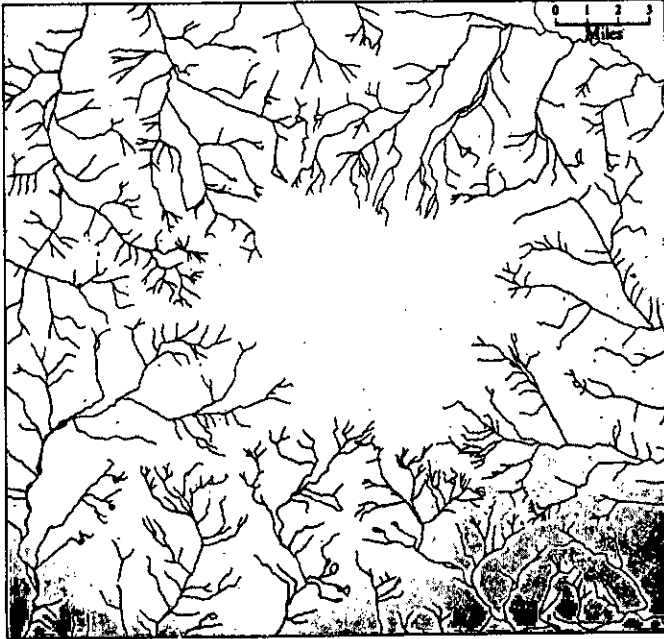
والانهار في نظام يشبه الى حد كبير تفرع العروق في ورقة الشجر (انظر —
الشكل (٨ — ٣٣)) بينما في المناطق ذات الشقوق والفواصل الكثيرة في الصخور



الشكل (٨ — ٣٣) :
نظام الانهار المتفرعة
يتطور في الصخور
القاسية .



الشكل (٨ — ٣٤) : تبادل الصخور
الصلبة واللينة يؤدي الى بروز نظام تصريف
نهرى ذو زاوية قائمة .



الشكل (٨ — ٣٥) : نظام النهر الراديالي المتشعب (Radial)

فياخذ النظام النهري عادة طابع الزوايا المتعامده كما هو الحال عندما تكون الصخور الاساسية مختلفة الصلابة اي تتعاقب في تكوينها الصخور الصلبة مع الضعيفة (انظر الشكل (٨ - ٣٤) . وكذلك لشكل المنحدر الاصلي تأثيره على نشوء النظام النهري فيما بعد كما هو مبين في الشكل (٨ - ٣٥) .

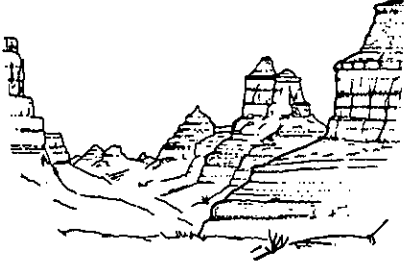
تطور التضاريس

Development of landscape

ان تطور تضاريس سطح الارض هو اكثر تعقيدا من تطور الاودية النهرية وانظمة التصريف . ولا شك في ان جميع العوامل التي بحثناها سابقا هي ذات علاقة في تكوين التضاريس ايضا ، فلا غرابة اذا في حدوث الكثير من الالتباس والجدل . وسنبدا في دراسة ابسط حالة ونبين الاحتمالات الاخرى الممكنة لظهور سبب حدوث الالتباسات مع ان هذا الموضوع لا يزال قيد الدرس المستفيض . ولا شك في ان الحصول على نتائج حديثة ومستمرة سعودي بالتالي لتخفيف الجدل حول تكوين وتطور التضاريس .

لقد ظهرت في امريكا ابسط وجهة نظر عرضت لتطور التضاريس ثم انتشرت هذه فاصبحت ذات اثر بارز على التاريخ الجيولوجي . وهذه النظرية المسماة بمبدأ النسقية^(٢٤) تعتبر حجر الاساس في الجيولوجيا الحديثة وهي تعني بأن العمليات التي تجري على سطح الارض حاليا تتسبب في تشكيل التضاريس الطبيعية اذا اعطيت الزمن الكافي . ومع ان هذا المبدأ كان معترفا به لدى البعض قديما الا انه لم يستعمل بشكل موسع الا عند نهاية القرن الثامن عشر . وعلى أية حال فان الجيولوجيا في اوروبا الغربية تطورت في القرن التاسع عشر . وآنذاك كان الجيولوجيون يعتقدون وخاصة اهل الجزر من الانجليز ان العامل المهم في الحت والتعرية يتمثل في امواج المحيطات وليس في الانهار ، الا ان انفتاح الاجزاء الغربية من امريكا بعد الحرب الاهلية جعل الدراسات الجيولوجية تخطو خطوة كبيرة للامام واصبح من السهل الاطلاع على عمليات الحت في المناطق الجافة وكذلك مشاهدة الانهار الكبرى والاخاديد ذات الانحدارات الشديدة كالتى

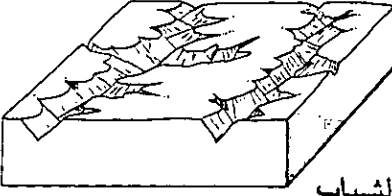
تحيط بنهر الكولورادو وكذلك رؤية السلاسل الجبلية الممتدة بمراحلها المختلفة من درجة الحث والتعرية (انظر الشكل (٨ - ٣٦)) .



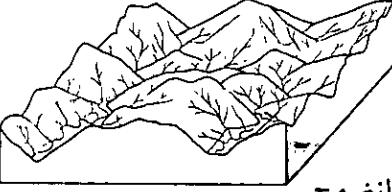
الشكل (٨ - ٣٦) : مشهد شائع من الجنوب الغربي الجاف . ان نقص الغطاء النباتي وحقيقة ان الصخور الرسوبية ليوضعها الانقي تعتبر سهلة التتبع لمسافة أميال كثيرة تجعلان التعرف على المقدار الهائل للحث والتعرية أمرا سهلا

وفي اواخر القرن التاسع عشر وضع وليام مورس ديفيس من هاروارد كل ما كان معروفا من قبل في نظام واحد اسماء دورة التعرية . وقد تصور ديفيس بأن اي شكل من اشكال التضاريس السطحية لا بد وان يمر في سلسلة من مراحل التغير ابتداء من رفع سطح الارض وانتهاء بالتسوية الكاملة للسطح بواسطة التجوية والتعرية . وقد ركز على الاشكال الناتجة خلال هذه المراحل بينما اعطى اهمتهما اقل للعمليات المسببة لها . ووجد بأنه من النادر ان تمر منطقة ما بكل المراحل في دورة التعرية الواحدة بل ان الدورة تنقطع وتبدأ من جديد كلما ارتفع السطح مجددا . ويعود هذا الى حقيقة ان هناك فقط القليل من المناطق التي شملتها دورة كاملة من الحث والتعرية ففي مرحلة الشباب تكون المناطق المرفوعة حديثا مستوية ولكن تتخللها انهار ذات اودية سحيقة (انظر الاشكال (٨ - ٣٧) وكذلك (٨ - ٣٨)) ثم يتغير الحال عندما تتقدم عملية الحث فيصغر حجم الانهار الداخلية بفعل الحث في العمق حيث تتسع اوديتها وكذلك نتيجة للانزلاقات على السفوح المواجهة للودية وعندما لا يبقى مسن السفوح المنبسطة شيء تكون التعرية قد وصلت الى مرحلة النضوج (انظر الشكل (٨ - ٣٧) وكذلك (٨ - ٣٩)) التي تتميز بتضاريسها الخشنة ثم تأتي مرحلة الشيخوخة وفيها ينخفض مستوى الودية الداخلية وتصبح التضاريس مستديرة التكوين على شكل هضاب (انظر الشكل (٨ - ٣٧) وفي المرحلة النهائية من دورة التعرية تتم تسوية هذا ايضا فتصبح المنطقة مسطحة (الشكل (٢٥)) . ونحن في الواقع نادرا ما نجد مثل هذه السطوح المستوية في

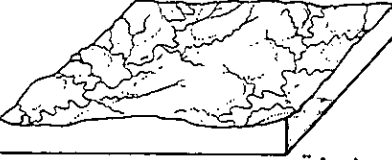
الشكل (٨ - ٢٧) : دورة الحت كما
براها ديفيس .



مرحلة الشباب



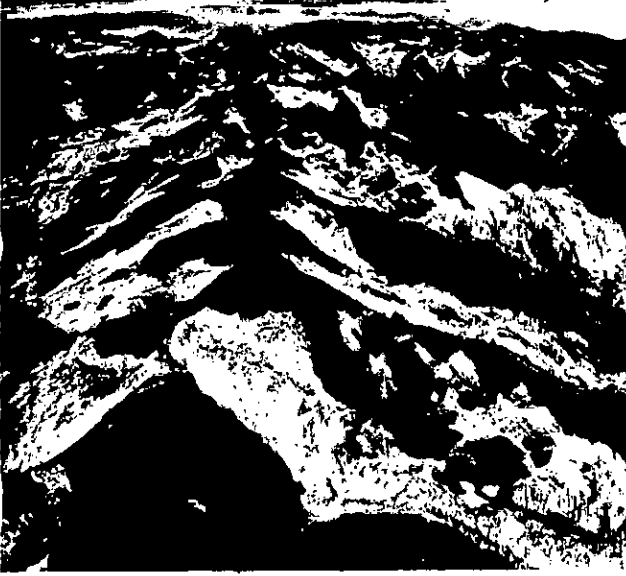
مرحلة النضوج



مرحلة الشيخوخة



الشكل (٨ - ٢٨) : مثال على الطبوغرافية الشابية . منظر مائل من الجو باتجاه الغرب
على الجراندي كانيون في أريزونا . ونرى فيه كيف يتعرض السطح المستوي لمهاجمة روافد النهر
الفرعية إذ يتم الحت باتجاه المنبع . أما داخل الأخدود الخاص بنهر الكولورادو فإنه منحوت
في صخور متحولة .



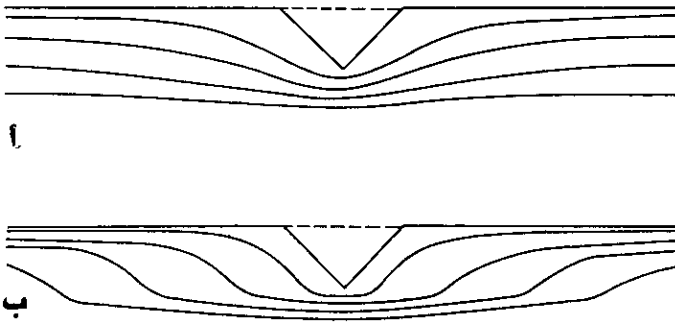
الشكل (٨ - ٢٩) :
مثال على مرحلة النضوج
لنطقة في السرايفادا
الكاليفورنية . وقد لعب
الجليد دوره في حت هذه
المنطقة .

الطبيعة وهذه احدى نقاط الضعف في نظرية دورة التعرية . على ان تأثير بعض العوامل قد يحول دون اكتمال الدورة فمثلا ان اي رفع لمستوى سطح الارض يجعل الوصول الى مرحلة التسوية الاخيرة للتضاريس غير ممكن .

وربما يمكن الاعتراض الرئيسي على دورة الحت والتعرية لديفيس في كونها تفرض رفعا راسيا سريعا لسطح الارض في مرة واحدة ثم الوقوف بعد ذلك لفترة تتم فيها دورة التعرية كاملة . واذا كانت عملية الرفع تسير ببطء شديد وبقيت عملية الحت تجاريها بنفس النسبة فانه لن يطرأ تغير كبير على شكل التضاريس . وعلى هذا فان اي نوع من الحركة سواء ، سريعا او بطيئا محتمل وقوعها جيولوجيا مما يعني بأن دورة ديفيس للتعرية لا تنطبق الا على حالات خاصة .

وهناك اعتراض اخر على هذه الدورة ويتلخص بأنه من الممكن ان لا يصغر حجم التلال بالحت والتعرية كما يراها ديفيس وانما قد يحدث بدلا من ذلك نوع من التوازن في النظام عندما تحافظ منحدرات التلال على معدل ثابت من الانحدار مع انحدار مجرى النهر . وتوازن مثل هذا يمكن حدوثه باعتبار مرحلة من المراحل اللازمة للوصول بالانهار لتصبح متدرجة ، كما سبق وذكرنا آنفا وبعد ان نكون قد وصلنا الى هذه المرحلة فان التغير في التضاريس يكون بمقدار تقدم الحت .

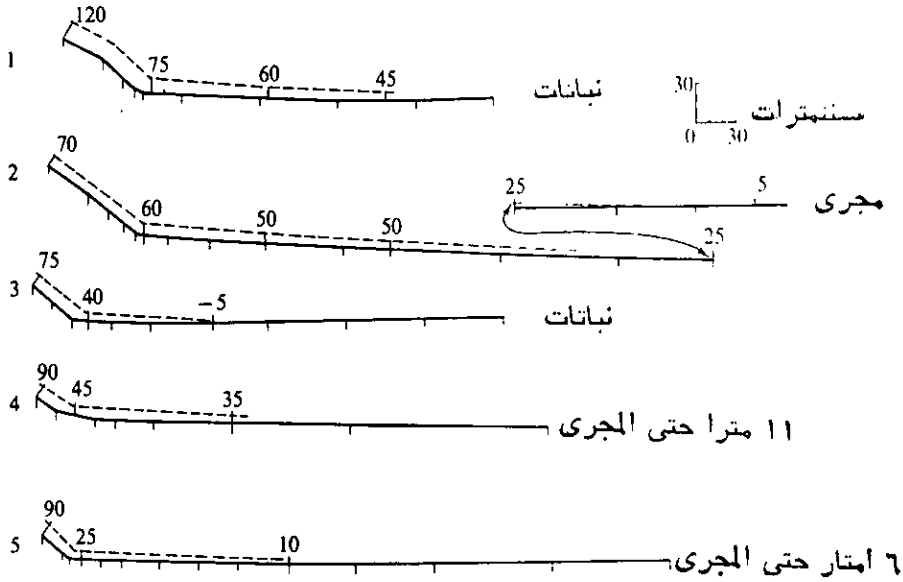
ولذلك لن يحدث تغييرات كبيرة في التشكيل العام حسب دورة ديفيس لان حالة التوازن تعني عدم حدوث اي تغيير الا اذا اختل التوازن كحدوث رفع غير متوقع او غير ذلك (انظر الشكل (٨ - ٤٠)) . وللإجابة على هذا الاعتراض اجريت في الفترة الاخيرة عدة دراسات تبحث في منحدرات التلال . وقد اولت هذه الأبحاث اهتمامها لمناطق ذات تجانس في الطقس والغطاء النباتي والتضاريس . وكذلك



الشكل (٨ - ٤٠) : مراحل تناوبية تبين الحث في وادي النهر حيث تعكس نظريتين لنطور المنحدرات : (١) - مبدأ ديفيس في حث الجدران الى اسفل . (ب) - وحسبت الجدران تراجعها الى الخلف مع الاحتفاظ بنفس قيمة المنحدر تقريبا .

في نوعية الصخور وقد وجد ان زاوية ميل منحدرات التلال في هذه المناطق تتناسب مع ميل انحدار الانهار وكذلك كثرة عددها . وايضا اخذت قياسات مباشرة عن تعرية المنحدرات وجد بأن المنحدر وتراجعها وزاوية ميله تستمر ثابتة اذا تم نقل الحطام الصخري من امامه (انظر الشكل (٨ - ٤١)) واما في حالة عدم انتقال الحطام وبقائه في مكانه اسفل المنحدر فلن ذلك يجعل زاوية الميل تنقلص وهو ما يحدث عادة في المناطق الرطبة حيث تتغلغل التجوية في داخل الصخور منتقلة زاحفة الى الاسفل . ومن كل ما تقدم نرى ان دورة ديفيس للحث والتعريسة لا يمكنها ان تجد تطبيقا الا في حالات خاصة .

ان لاختيار مساحة المنطقة الخاضعة لدراسة التضاريس والمدة الزمنية اللازمة لذلك اثرها في نتائج اي ابحاث تتعلق بالحث والتعريسة فلو اخذنا منحدرًا على مرتفع واحد او مقطعا محددا من نهر ما وكنا في حالة توازن ابان فترة محددة اجريت خلالها ابحاث كما ذكرنا سابقا لوجدنا بأن هذه الحالة قد لا تنطبق



الشكل (٨ - ٤١) : قياسات من مناطق الميادلاندز في جنوب داكوتا . وتمثل الخطوط المقطعة تموز ١٩٥٣ ، والخطوط المستمرة أيار ١٩٦١ . أما (الأرقام فتشير إلى عمق تحت بالمليمترات .

على النظام النهري بأكمله وخاصة عندما نأخذ في الاعتبار الأزمنة الجيولوجية الطويلة حيث يتم بالتأكيد تحت كميات كبيرة من الصخور وهو ما يعني حدوث تغيير في النظام . أي أننا قد نعتد على المدى القصير بأن التضاريس لا تتغير، بينما هي تفعل ذلك في واقع الحال لو أخذنا في الاعتبار الأزمنة على المدى الطويل، والحقيقة أن ديناميكية الأرض لا تسمح ببقائها دون حركة للأزمنة طويلة وحدثت التغيرات على سطحها ليس إلا نتاج صراع مستمر بين عاملين هما الحركات والرفع .

اسئلة

- ٨ — ١ كيف يتم تصريف الطاقة النهرية ؟
- ٨ — ٢ كيف تفسر حقيقة أن النهر تزداد سرعته عند جزئه السفلي ؟
- ٨ — ٣ ماهي الطرق الثلاث التي يتبعها النهر في نقل حمولته .
- ٨ — ٤ ماذا تعرف عن عملية الحت النهرية ؟
- ٨ — ٥ صف كيفية تكوين وهجرة المنحنيات في مجرى النهر (أرسم)
- ٨ — ٦ ان موضع التبر *placer* هو مكان يرسب فيه النهر بعض المعادن الثقيلة كالذهب ، أين يمكن أن تبحث في النهر عن تلك الترسبات ؟
- ٨ — ٧ ماهي اسباب مضاعفة كمية الترسبات النهرية من أربعة الى ثمانية مرات اذا تضاعفت سرعة جريان الماء بينما لا يتضاعف حجم السدرات المنقولة الا اربعة اضعاف فقط ؟
- ٨ — ٨ وضع بالاشكال عملية حت الاودية النهرية .
- ٨ — ٩ صف عملية الحت في منطقة مرتفعة ، ووضح كيف تتغير التضاريس كلما تقدمت التعرية والحت . يجب أن تحتوي اجابتك على بضعة فرضيات عليك أن تضعها .
- ٨ — ١٠ ماذا تسمى مرحلة الحت الأخيرة .
- ٨ — ١١ اذكر بعض خواص الاودية النهرية الضيقة .
- ٨ — ١٢ صف العملية التي ترافق الرفع المفاجيء لمنطقة ما .

مراجع اضافية

General

- Bloom, A. L., *The Surface of the Earth*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1969, 152 pp. (paperback).
- Curtis, W. F., J. K. Culbertson, and E. B. Chase, *Fluvial-Sediment Discharge to the Oceans from the Conterminous United States*. U. S. Geological Survey Circular 670, Washington, D.C.: U. S. Government Printing Office, 1973, 17 pp.
- Davis, W. M., *Geographical Essays*, especially Part II, "Physiographic Essays." New York: Dover Publications, Inc., (1909) 1954, 777 pp. (paperback).
- Flemal, R. C., "The Attack on the Davisian System of Geomorphology: A Synopsis," *Journal of Geological Education* (January, 1971), Vol. 19, No. 1, pp. 3-13.
- Hunt, C. B., *Physiography of the United States*. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1967, 480 pp.
- Janssen, R. E., "The History of a River," *Scientific American* (June, 1952), Vol. 186, No. 6, pp. 74-83. Reprint 826, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Judson, Sheldon, "Erosion of the Land," *American Scientist* (Winter, 1968), Vol. 56, No. 4, pp. 356-374.
- Leopold, L. B., and W. B. Langbein, "River Meanders," *Scientific American* (June, 1966), Vol. 214, No. 6, pp. 60-70.
- Leopold, L. B., and Thomas Maddock, Jr., *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications*. U.S. Geological Survey, Professional Paper 252, 1953, 57 pp.
- Leopold, L. B., M. G. Wolman, and J. P. Miller, *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1964, 504 pp.
- Morgan, J. P., "Deltas—A Résumé," *Journal of Geological Education* (May, 1970), Vol. 18, No. 3, pp. 107-117.
- Morisawa, Marie, *Streams: Their Dynamics and Morphology*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1968, 175 pp. (paperback).
- Peixoto, J. P., and M. A. Kettani, "The Control of the Water Cycle," *Scientific American* (April, 1973), Vol. 228, No. 4, pp. 46-61.
- Schumm, S. A., "The Development and Evolution of Hillslopes," *Journal of Geological Education* (June, 1966), Vol. 14, No. 3, pp. 98-104.

- Shimer, J. A., *This Sculptured Earth: The Landscape of America*. New York: Columbia University Press, 1959, 256 pp.
- Thornbury, W. D., *Principles of Geomorphology*, 2nd ed., Chapters 5, 6, 7, 8, pp. 99-208. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1969, 594 pp.
- Environmental Hazards**
- Bue, C. D., *Flood Information for Flood-Plain Planning*. U.S. Geological Survey Circular 539, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1967, 10 pp.
- Chorley, R. J., *Water, Earth, and Man*. London: Methuen and Co., Ltd., 1969, 588 pp.
- Glancy, P. A., *A Mudflow in the Second Creek Drainage, Lake Tahoe Basin, Nevada, and Its Relation to Sedimentation and Urbanization*. U.S. Geological Survey Professional Paper 650C, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1969, pp. C195-C200.
- Guy, H. P., *Sediment Problems in Urban Areas*. U.S. Geological Survey Circular 601-E, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1970, pp. E1-E8.
- Hoyt, W. G., and W. B. Langbein, *Floods*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1955, 469 pp.
- Leopold, L. B., *Hydrology for Urban Land Planning — A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use*. U.S. Geological Survey Circular 554, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1968, 18 pp.
- Rantz, S. E., *Urban Sprawl and Flooding in Southern California*. U.S. Geological Survey Circular 601-B, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1970, pp. B1-B11.
- Sheaffer, J. R., and others, *Flood-Hazard Mapping in Metropolitan Chicago*. U.S. Geological Survey Circular 601-C, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1970, pp. C1-C14.
- Thomas, H. E., and W. J. Schneider, *Water as an Urban Resource and Nuisance*. U.S. Geological Survey Circular 601-D, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1970, pp. D1-D9.
- U.S. Geological Survey, *Hydrologic Atlases Portraying Areas Struck by Hurricane Camille on the Mississippi Gulf Coast*. HA395 to HA408, 1969.

الفصل التاسع
العمليات الجيولوجية في
المناطق الجافة وعمل الرياح

**Geologic Processes in Arid Regions
and the Work of Wind**

العمليات الجيولوجية في المناطق الجافة
التضاريس الصحراوية
العمل الجيولوجي للرياح
أسئلة

مراجع إضافية

ظهر (Ridge) كتيب معتمد في Imperial Valley ، كاليفورنيا .
الصورة بواسطة W. C. Mendenhall, U. S. المساحة الجيولوجية الأمريكية .

9



العمليات الجيولوجية في المناطق الجافة

تغطي المناطق الجافة أكثر من ربع المساحة العامة لسطح القشرة الأرضية وهي في معظمها صحارى جافة أو شبه صحارى ، مع وجود بعض الصحارى الباردة . وتتجمع معظم هذه الصحارى في المناطق شبه الاستوائية قرب خطوط العرض من ٣٠ شمالا الى ٣٠ جنوبا . ويعود السبب في نشوئها مبدئيا الى التيارات الهوائية على الأرض حيث تتسبب هذه التيارات في هبوط الهواء الجاف حول خطوط العرض هذه مما ينتج عنه ضغط يؤدي الى تسخين الهواء الجاف أصلا . وهناك نوع آخر من الصحارى ينشأ في المناطق المختفية خلف سلاسل الجبال العالية حيث تحجز هذه الأمطار عنها ، كما هي الحال في الجنوب الغربي من الولايات المتحدة الأمريكية ففي هذه الحالة تأتي الرياح الرطبة من المحيط الهادي فتضطر للارتفاع فوق جبال السيراينيفادا والجبال الأخرى في كاليفورنيا مما يجعل الأمطار تهطل على الجبال . وهنا أيضا يسخن الهواء عند هبوطه بسبب زيادة الضغط خلف الجبال . بمقارنة الصحراء بالمناطق الرطبة ، نجد أن عدم توازن الرطوبة الجوية في الصحراء لا يغير أنواع العمليات الجيولوجية فيها وإنما يغير ترتيبها من حيث الشدة ، فهنا نجد أن سقوط المطر وإن يكن بفترات متقطعة وغير منتظمة هو العامل الأساسي في الحث . فقد يحدث هذا في مكان محدد مرة كل عدة سنين ، ولكن يكون بشكل زخات قوية مفاجئة أو بشكل عاصفة . ولعدم وجود غطاء نباتي يكون مفعول هذه العواصف قويا . من حيث قدرتها على الحث سواء باصطدام المياه بالسطح أو بجرياتها عليه بشكل

فيضان . وقد تحجر هذه المياه عند جريانها في الاودية الجافة المسافرين على بعد اميال من مكان العاصفة .

اما الفيضانات فتجري بحمولتها ، وفيها الكثير من الجزيئات المفككة الى الاودية التي تصبح بسبب الطين اثنه بالانسحاب الطيني منها بالنهر ، ومثل هذه السيول قد تجرف الجلاميد الضخمة فتدمر كل ما في طريقها . اما تأشير التجوية في الحت فاته قليل والعامل الاساسي في حث المناطق الجافة يتمثل في التجوية الميكانيكية لا الكيميائية ولهذا يكون تكوين التربة بسيطا . ان التربة الخصبة في مصر تنقل اليها بواسطة النيل من الماطل الرطبة البعيدة والصخور الجيرية التي تذوب بسرعة في مياه المناطق ذات المناخ الرطب تشكل في الصحارى تلالا صخرية .

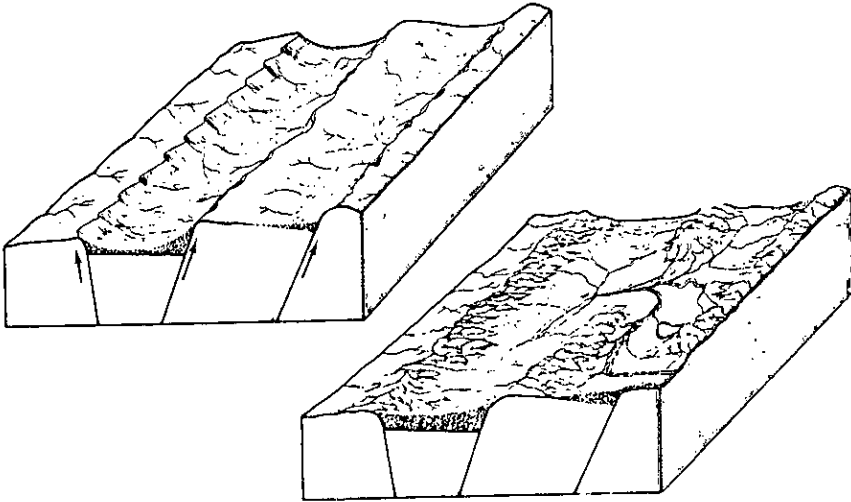
التضاريس الصحراوية

Desert landscapes

ان قلة الامطار وانعدام رطوبة الجو في الصحراء يجعل التضاريس هناك تتطور ببطء . ولقلة المطر يندر وجود الانهار المستمرة الجريان في الصحراء . اما النيل والكولورادو فانهما استثناءان ، ولكنهما ينبعان من مناطق مرتفعة تكثر فيها الامطار وبعد ذلك يخترقان الصحارى . ومعظم الصحارى تحتوي على أنظمة تصريفية داخلية . ولهذا تأثيره الواضح على تطور الحت فيها . والحووض الكبير في جنوب غرب الولايات المتحدة هو خير مثال على تطور أنظمة التصريف في الصحارى . وهو منطقة تحتوي على سلاسل جبلية عديدة تكونت بفعل فوالق حديثة العهد . ويطلق احيانا اسم بلاد الحوض والمرتفعات على هذه المنطقة لان اسم الحوض وحده قد يعني انه منفصل عن المرتفعات في حين انه يقع بينها . والاحواض عبارة عن منخفضات قد تحتوي احيانا على بحيرات تتجمع من امطار المياه الغزيرة التي تهطل بين فترة واخرى كما حدث في العصور الجليدية وهو موضوعنا في الفصل القادم ، ومعظم هذه الاحواض تحتوي على ترسبات منشؤها هذه البحيرات وتحتوي عادة املاح ومواد ذائبة اخرى جاءت مع مياه الامطار

أو بواسطة التجوية الكيميائية . ولهذا يسمى العديد من البحيرات بالبحيرات القلوية مثل بحيرة الملح الكبرى (١) .

وأما الجاف من هذه البحيرات فتخلق ما يسمى بالسهول القلوية (٢) مثل سهول بونفيل الملحية ، ويتم تطور هذه البحيرات بنفس الطريقة التي تحدث في المحيطات . وما هذه الاحواض في حقيقة الامر الا محيطات صغيرة . يبدأ تطور انظمة التصريف الصحراوية عادة بالحت في الجبال ويكون مرافقاً للترسيب في الاحواض أو أمام الجبال على شكل مراوح ركابية (٣) وتستمر هذه العملية حتى يمتلئ الحوض الى المستوى الذي يسمح بجريان الأنهار فوق سطحه ويصل الى مستوى الارتفاع الفاصل بين الحوض والحوض الذي يليه (انظر الشكل (٩ - ١)) ثم تستمر عملية الترسيب حتى يمتلئ الحوض التالي أيضا . وفي الوقت الذي يكون فيه الحوض الثاني قد قارب على الامتلاء يكون الحاجز أو الخط الفاصل بينهما قد انخفض الى حد كبير بفعل الحت مما يعرض الحوض الذي امتلأ في المرحلة الاولى بدوره للحت والتجرية بسبب هبوط المستوى



الشكل (٩ - ١) : تطور انظمة التصريف في منطقة الحوض والسلسلة . فبعد ما يمتلئ حوض ما يخترق التصريف خط الفاصل المنخفض الى الحوض الذي يليه . وتستمر هذه العملية ببطء ، موحدة بذلك نظام التصريف لعدة احواض حتى تستطيع الأنهار الموسمية الوصول الى المحيط ، وهو هدف قلما يتم الوصول اليه .

1. Great Salt Lake
2. Alkali Flats

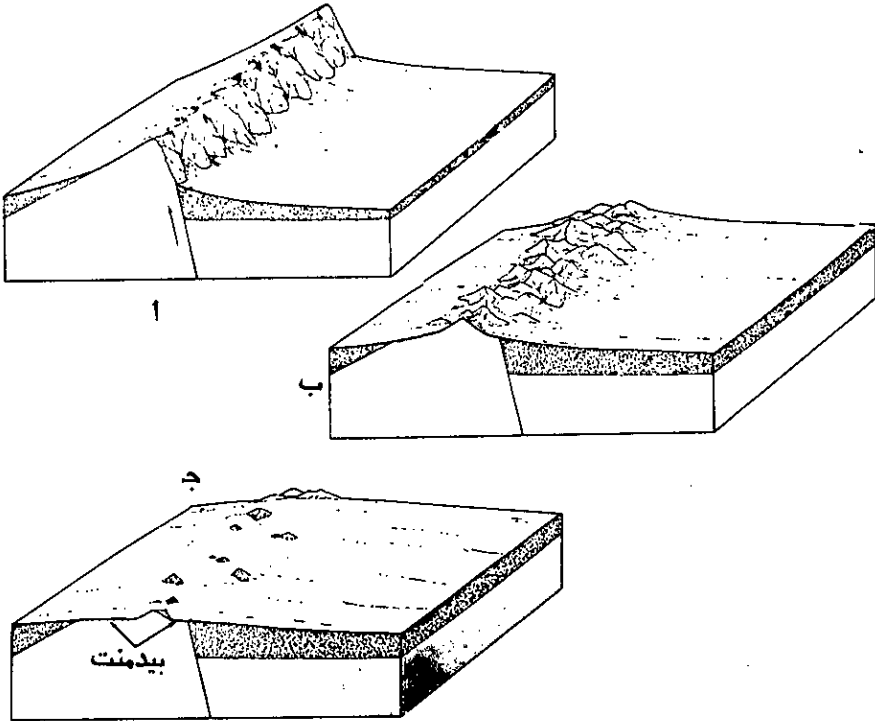
3. Alluvial Fans

الادنى (انظر الشكل (٩ - ٢)) ثم تستمر هذه العملية المعقدة حتى يتكون مخرج من المحيط ، علما بأن هذا يتم فقط في قليل من الحالات لان فقدان المياه الكافية يجعل هذه العملية تسير ببطء شديد . ثم ان التمرية والحث في الجبال الصحراوية يختلفان الى حد ما عنهما في مناطق الاجواء الرطبة ، وقد تكون الفوارق اساسية ولكنها على الارجح نتيجة اختلاف في ترتيب عوامل التجوية من حيث الشدة . وكما لاحظنا آنفا فان مستوى القاعدة محليا ، وكذلك نشوء احواض الرشح الصغيرة بدل الاحواض الكبيرة يساعدان في تكوين انظمة ضيقة في صحارى محدودة لكل منها نظامها وتاريخها الخاص بها الذي يسهل ان نرى مراحله تطوره .



الشكل (٩ - ٢) : نظام تصريف متكامل نتج عن اتصال الاحواض . ان السهول المنخفضة في مقدمة الصورة ووسطها كانت قد نزل مستواها على الاغلب بسبب الحث ، كون مستواها الادنى كان قد هبط عند اتصال الانظمة التصريفية ببعضها . ويمكن مشاهدة أماكن للقرصنة التي سوف تحدث قريبا . ويمكن رؤية اتصال الاحواض ببعضها في الوسط اليميني من الصورة . لاحظ عدم وجود غطاء نباتي في المنطقة وكذلك مجاري الانهار الجافة في هذا المنظر بالقرب من الحدود الجنوبية لكاليفورنيا .

وبشكل عام يبدأ تطور التضاريس هذه بتكوين مراوح ركامية أمام الجبال ، ثم يبدأ حت الجبال تراجعاً فتصغر زاوية ميل المنحدرات ويصبح سطح الصخور أقل خشونة وهذا ما يسمى بالبیدمنت (١) الذي يمثل استمراراً طبيعياً للمروحة ويغطي البیدمنت عادة طبقة رقيقة من الحصى مما يجعل تميزها عن المروحة صعباً للغاية إلا إذا اخترقتها الأخاديد عندئذ يمكن تميز ما هو دون طبقة الحصى المذكورة . ومن الجدير بالذكر أن كيفية تكوين البیدمنت لا تزال غير واضحة مع أنه من المعروف أن الانهيار التي تتبع من الجبال تغير مجراها هنا وهناك أثناء مرورها بالبیدمنت بخلاف ما يحدث في حالة تكوين الرواسب المروحية . وقد يكون للماء المنطلق دوره في تكوينها . وللبیدمنت سطح محدب فهو يشبه بذلك المقطع الطولي للنهر ويتراوح مقدار انحدار السطح من نصف درجة الى سبع درجات ويظهر أثر ذلك على تصنيف حجم الفتات التي يغطيها وحجم المياه



الشكل (١ - ٣) : تكوين البیدمنت : (١) - بعد الرفع ، (ب) - البیدمنت بدأ بالتكون ، (ج) - المرحلة الأخيرة . وتمثل السلسلة الجبلية ببیدنتا .

المنطقة على سطحها . وفي الاشكال (٩ - ٣) و (٩ - ٤) وكذلك (٩ - ٥) نبين
مراحل الحت المختلفة في الصحراء .



الشكل (٩ - ٤) : الواجهة الشرقية المصدعة من السيرانيقادا لم تتأثر بالحت بعد
الا قليلا .



الشكل (٩ - ٥) : احيطت السلسلة التي تبدو في هذه الصورة بالحت وتكون
البديمنات والماواح الركامية . وفي اليمين من مقدمة الصورة تقلصت الجبال بحيث
بيدمنات منخفضة .

العمل الجيولوجي للرياح

Geologic work of wind

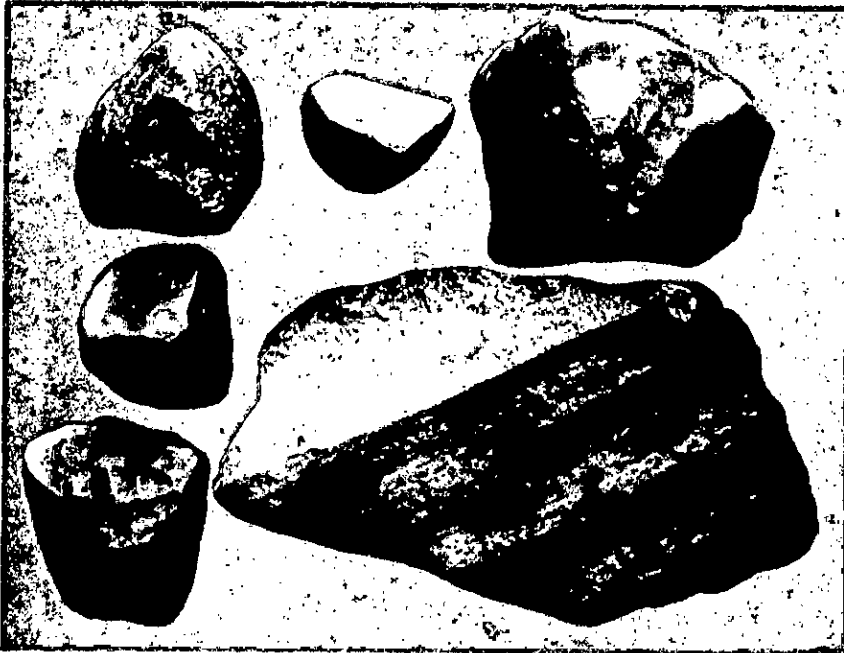
تعتبر الرياح في المناطق الجافة فقط عاملاً نشطاً في الحث والتعرية حيث يؤدي التسخين والتبريد السريعان في الصحارى لهبوب رياح شديدة تشبه في سلوكها المياه الى حد ما وان كانت فعاليتها اقل . وتتم عملية الحث بالرياح بطريقتين . الاولى التذرية (٥) ، والثانية السحج او الكحت (٦) . والاولى تعني ببساطة نقل الرمال والجزيئات الاصغر حجماً من اماكنها بواسطة الرياح وهو ما يحدث بشكل عام في الاماكن الجافة حيث ينعدم الغطاء النباتي كما هو الحال في الصحارى او في البحيرات والانهار الجافة وكذلك السهول الممتدة امام الزاحفات الجليدية في اوقات جفافها . وينتج عن التذرية تجويفات على السطح تسمى احياناً ، بالحفر (جمع حفرة) (٧) وهي مقعرة الشكل ولا يمكن أن تتكون بفعل المياه السطحية الا اذا كانت الصخور الاساسية جيرية التكوين فتتحلل هذه في المياه تحت السطحية مخلفة مكانها تجويفات على السطح . وفي اماكن اخرى تنزع التذرية عن سطح الارض جزيئاتها الدقيقة تاركة على السطح الحمصى نقط ، وهذا يشكل درعا واقياً لما تحته يحميه من خطر التذرية ، كما أن تعاقب الرطوبة والجفاف على الحمصى يجعلها ترتفع الى اعلى في عملية تشبه الى حد ما عمل الجليد الذي اشرنا اليه في الفصل السابع . أما عصف الرمال (٨) فيتم بنقل الجزيئات الرملية بواسطة الريح فيؤدي الى حث الجدران الصخرية والجلاميد الكبيرة مبتدئة من اسفلها (انظر الشكل (٩ - ٦)) . وقد يتشكل بالعصف الرملي حمصى لطيفة المظهر تسمى حصباء الريح (٩) او الحجارة المثلثة (١٠) اي النحجر ثلاثي الوجة اذ يضرب الرمل بقوة على الحمصى الظاهرة على السطح فيحت وجهها المقابل للرياح ويجعله مدوراً ، وقد يكون مصقولاً مع تنقر بسيط فيه . ولعظم هذه الحصباء أوجه عديدة لكنها غالباً ثلاثة فقط (انظر الشكل (٩ - ٧)) وهي تعبر عن اتجاهات الرياح السائدة في مكانها . وقد

5. Deflation
6. Abrasion
7. Blowouts

8. Sandblasting
9. Ventifacts
10. Dreikanter

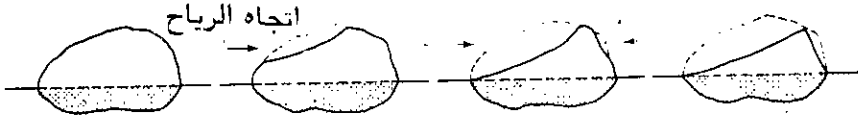


الشكل (٩ - ٦) : قوس مزدوج في منطقة الاقواس ، يوتا . ويعتقد بان هذه الاقواس كانت قد تكونت بفعل حث الرياح للصخور الرملية السميكة ، بحيث ينفك المطر الذي ينسزل احيانا ذرات الرمل على السطح وتاتي الريح فنقتلع حبات الرمل وتتسبب الكحت .



الشكل (٩ - ٧) : الحمى الريحية .

يعود ذلك لانقلاب الحصى نظرا لسحب الرمال من تحتها بفعل التذرية، فيتعرض منها عندئذ وجه جديد للرياح (انظر الشكل (٩ - ٨)) والنقل بواسطة الرياح يشبه النقل بواسطة المياه حيث نجد في كل من الوسيطتين حمولة عالقة واخرى على القاع (مجرورة) . وهنا ينتج عن الحمولة العالقة عواصف غبارية (١١) وعن الحمولة المجرورة عواصف رملية (١٢) . ويكون حجم الجزيئات الرملية المتطايرة عادة اقل من ١ مم اما معدل الحجم العام فحوالي ١/٤ مم . ويبدأ الرمل في الحركة عندما تصل سرعة الرياح في المنطقة الرملية ١١ ميلا في الساعة. ويشتمل الغبار على كل الجزيئات التي قطرها اقل من ١٦/١ من مم الفرين (١٣) مع ان حجم معظم المواد المتطايرة مع الريح يقل عن ذلك بكثير . ويعتبر تصنيف الجزيئات حسب الحجمين المذكورين عند الترسيب بواسطة الرياح افضل بكثير منه عند الترسيب بواسطة المياه ويعود السبب في ذلك لعجز الرياح عن



الشكل (٩ - ٨) : تكوين الحصى الريحية بفعل كحت الرياح . وتبدو الوجة مقابلة لاتجاه الرياح . وتتكون وجهه اخرى من اتجاه رياح مختلف او من انقلاب الحصى معرضة جانباً اخر للرياح .

رفع الذرات الرملية عن سطح الارض لاكثر من اقدام معدودة بينما يختلف الحال فيما يتعلق بالغبار اذ يمكن حمله الى علو الاف اقدام . وقد اسفرت دراسة تطبيقية على هذه العملية اجريت في مكان ما عن ان ٥٠٪ من وزن الجزيئات المشمولة بالدراسة امكن رفعها عن السطح الى اقل من خمسة بوصات بواسطة الرياح وامكن رفع اقل من ٩٠٪ من الذرات عموماً الى اقل من ٢٥ بوصة ولكن بعضها وصل الى عشرة اقدام . وظهر من الدراسة ايضا بأن اقصى تأثير للحت بواسطة الكحت يتم على ارتفاع تسعة بوصات فوق سطح الارض ويظهر اثر ذلك على اعمدة الاسوار والاعمدة الكهربائية التي تقع في نطاق المناطق المعروفة بالمعواصف . ويستطيع المرء أن يتخيل أن المعواصف الرملية تصاحبها في العادة

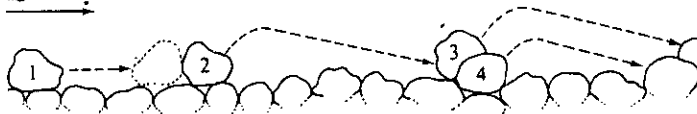
عواصف من الغبار بينما يمكن أن تنشأ عواصف الغبار وحدها بدون العواصف الرملية ولهذا ينتقل الغبار الى مسافات أبعد بكثير من الرمال (انظر (٩ - ٩))



الشكل (٩ - ٩) : عاصفة رملية ناتجة عن جبهة هوائية باردة عند مانتير ، كانساس ، في نيسان ١٩٣٥ . ويحمل الغبار مع كتلة الهواء البارد الى ارتفاعات كبيرة .

وكيفية انتقال الحبيبات الرملية تشبه في طبيعتها تلك التي تتم بواسطة المياه حيث تعتمد الحركة في الحالتين على الدرجة والارتداد فتتدحرج الحبيبات في البداية على بعضها ، وعندما تضرب الحبة الاولى بالثانية فان اصطدامها ينقل الطاقة الكامنة الى الحبيبات الاخرى فتقفز بدورها الى اعلى وعند سقوطها تجعل العملية تستمر باصطدامها بجسيمات اخرى .

وهكذا (انظر الشكل (٩ - ١٠)) ، وباستثناء حالة وجود تيارات هوائية اتجاه الرياح

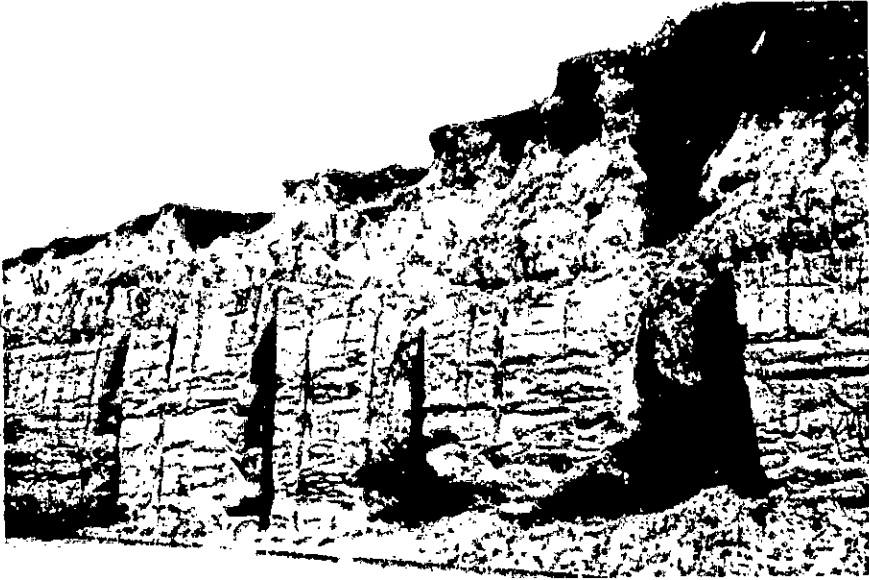


الشكل (٩ - ١٠) : حركة حوالة القاع ، تتدحرج حبة الرمل ١ فتضرب الحبة ٢ عندئذ ترتفع لتضدّم بالحبات ٣ و ٤ ويرتفع كل منهما بدوره ليضرب حبات اخرى .

قوية فان الغبار لا يتصاعد بوجود الرياح وحدها لانه يوجد على السطح عادة قطاع رقيق خال من الرياح يساوي في سمكه ٣٠/١ من معدل حجم الحبيبات

على السطح ، ولكن اصطدم الحبيبات الرملية بالسطح يحرك هذه الجزيئات الدقيقة جدا فينتقل الغبار من السطح وتتكفل التيارات الهوائية بأبعائه عالقا في الجو متحركا .

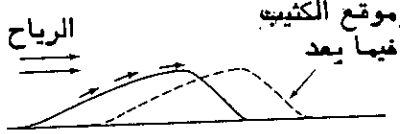
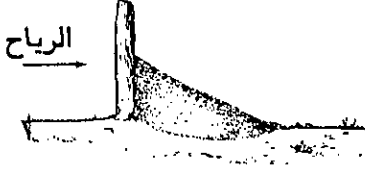
ومقدار ما تستطيع عاصفة أن تحمله من مواد عالقة قد يكون كبيرا جدا ونذكر مثلا على ذلك الحمولة التي كانت عالقة في الجو مع عواصف عام ١٩٣٠ في الولايات المتحدة فقد قدرت بـ ١٥٠.٠٠٠ طن في الميل المكعب من الهواء .
أما الترسيبات التي تعود في منشأها للرياح فأنها على نوعين : أولا اللوس (١٤) ويتكون من الغبار الدقيق الذرات ، وثانيا الكشبان وهي رملية الحبيبات . أما اللوس فإنه يتجمع بشكل ترسبات سميكة غير طبقية التركيب لان ذراتها ذات حجم واحد يقع في مجال حجم الغرين (انظر الشكل (٩ - ١١)) .



الشكل (٩ - ١١) : اللوس بالقرب من فكريورغ ، ميسيسيبي . وتختلف الطبقة العليا منه بعض الشيء عن السفلية . ومع أنه باستطاعة اللوس الثبات في جدران عمودية ، إلا أنه من السهل هتها عندما يمر من فوقها الماء .

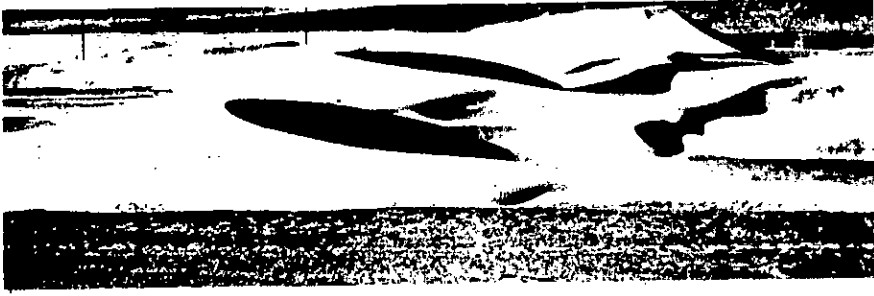
ويعتقد بأن ترسبات اللوس السميكة في الصين يعود مصدرها للصحرارى الاسيوية وان معظم ترسبات اللوس في أمريكا ترجع لترسبات العصر الجليدي اذ نقلتها الرياح بعد تراجع الجليد من المناطق التي تركها بدون غطاء نباتي

فأصبحت عرضة للرياح التي نقلتها لامتكنة ترسبها حيث هي الآن .
أما الحبيبات الرملية فتتجمع بشكل كثبان حيث تذررها الرياح . وغالبا ما
تبدأ الكثبان في التكوين عندما يقف عائق ما في وجه الرياح (انظر الشكل (٩-١٢))

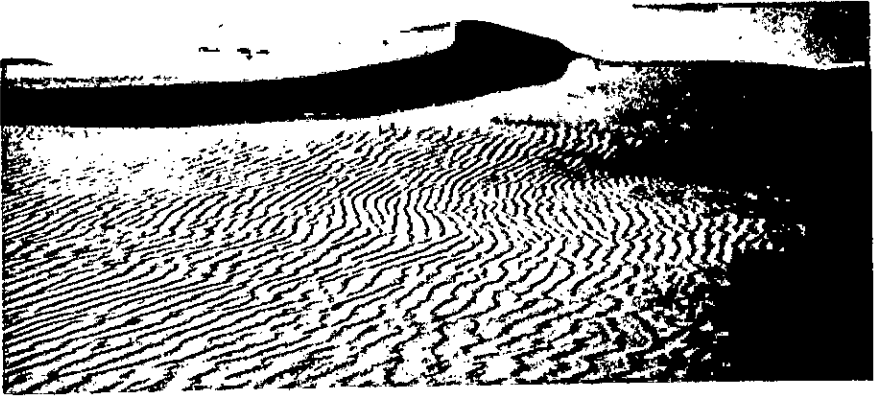


الشكل (٩ - ١٣) : انتقال الكثبان الرملية . يحرك الريح حبات الرمل واحدة واحدة على امتداد سطح الكثيب حتى تسقط من فوق الواجهة المنحدرة .

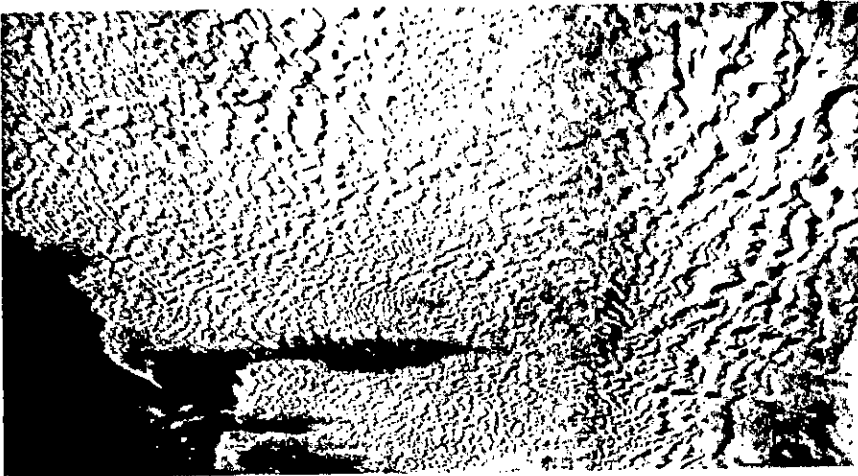
نوع الشكل الكثبان	المقطع	ملاحظات
الرياح هلالية		تنتشر بشكل عمام في مجموعات في المناطق ذات اتجاه الريح الثابت تتحرك بسرعة ٢٥-٥٠ قدم / السنة تصل الى ١٠ قدم نسي ارتفاعها والى ١٠٠٠ قدم في طولها
المستعرضة		تشبه البارخان الا انها ملتوية . وتتكون في المناطق ذات الرياح القوية حيث يوجد الكثير من الرمال
الاهليجية		وهي ملتوية بشكل حاد تتكون في مناطق الرياح وتتشبه دبوس الشعر الممتدة مع بعض الغطاء النباتي وتكثر على الشواطئ النباتية يصل ارتفاعها ١٠٠ قدم
طولية (سيف)		نشأ في المناطق التي تكثر فيها الرياح ولكن رمالها قليلة يصل ارتفاعها الى ٢٠٠ قدم وطولها الى ٦٠ ميلا اما بالمعدل فتصل في طولها الى ٢٠٠ قدم وارتفاعها الى ١٠ اقدام



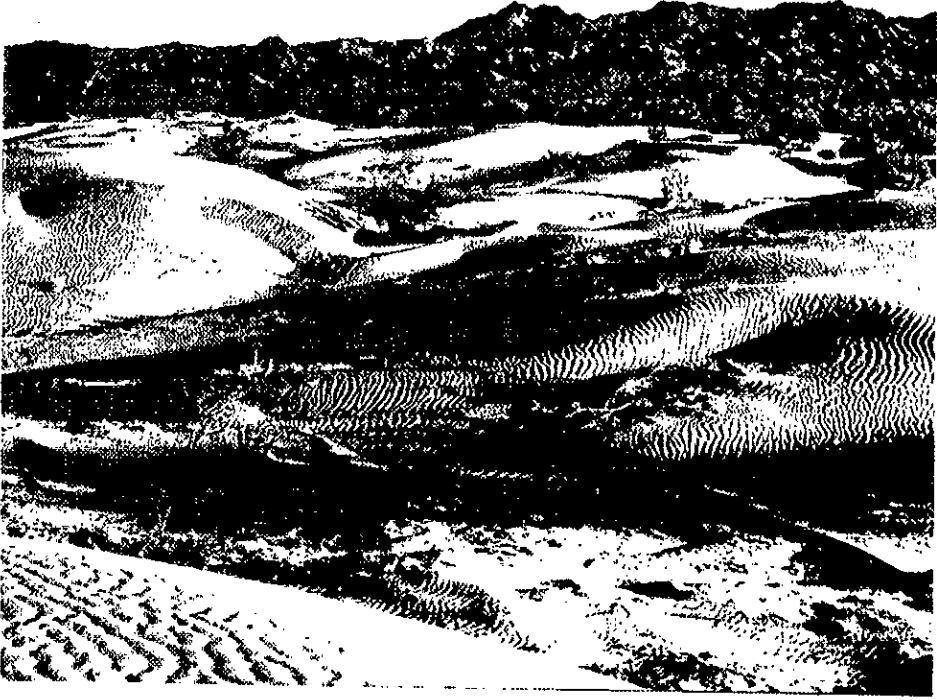
الشكل (٩ - ١٥) : كتبان هلالية في وادي نهر الكولومبيا بالقرب من بجز .



الشكل (٩ - ١٦) : ضلوع الريحية غير متساوية . ويبدو الجانب المنحدر لكتيب رملي هلالى .



الشكل (٩ - ١٧) : صورة جوية لوادي الامبريال ، كاليفورنيا ، تظهر فيها مجموعة من الكتبان . ان معظم المناطق تحتوي على مجموعات مختلفة ولا تقع ضمن التقسيم العام للكتبان .



الشكل (٩ - ١٨) : حافة المجموعة الكثيبية في وادي الامبريال ، كاليفورنيا .

وان لم تثبت بالنباتات فانها تزحف ببطء عبر الصحراء (انظر الشكل (٩-١٣) .
والحقيقة انه من الصعب تصنيف كل انواع الكثبان الرملية الا ان هناك بعضا
من انواعها يكثر انتشاره (انظر الاشكال من (٩ - ١٤) الى (٩ - ١٨)) .
والحببيات الرملية تثبت وتتجلد على بعضها في الكثبان بقوة الاحتكاك اثناء
النقل .

أسئلة

- ٩ — ١ ما أهمية الطقس في الحت وتطور التضاريس السطحية ؟
- ٩ — ٢ صف البيدهنت
- ٩ — ٣ صف بايجاز الحت بالرياح (نوعين)
- ٩ — ٤ يسمى الفرين المترسب بواسطة الرياح
- ٩ — ٥ يسمى الرمل المترسب بواسطة الرياح
- ٩ — ٦ صف عملية تصنيف ترسبات الرياح
- ٩ — ٧ كيف يمكن أن تختلف الترسبات الناتجة عن الرياح عن تلك الناتجة عن الماء ؟
- ٩ — ٨ صف عملية تطور ارضية الصحراء .
- ٩ — ٩ لماذا لا تعتبر الرياح عاملا مهما في حث المناطق الرطبة .

مراجع إضافية

Bagnold, R. A., *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. London:

Methuen & Co., Ltd., 1941, 265 pp.

Sharp, R. P., "Wind-driven Sand in Coachella Valley, California," *Bulletin Geological Society of America* (Sep-

tember, 1964), Vol. 75, No. 9, pp. 785-804.

Thornbury, W. D., *Principles of Geomorphology*, 2nd ed., Chapter 12, pp. 288-302. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1969, 594 pp.

الفصل العاشر الجليديات

Geologic Work of Ice — Glaciers

جليديات الجبال
الجليديات القارية
سبب حصول الجليديات
أسئلة
مراجع إضافية

جبل جليدي تشكل حيث تلتقي الجليدية مع المحيط . شرق غرينلاند في مكان

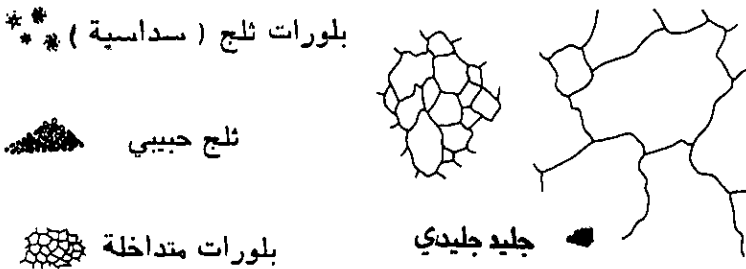
. Storstrømmen

10



رغم أن أهمية الجليديات بالنسبة للحث الإجمالي ، أقل من أهمية الأمطار ، فإنها قد أعطت شكلا لكثير من أشكال الأرض (١) في شمال أمريكا الشمالية وأوراسيا . وبالإضافة لذلك ، فإن معظم سلاسل جبال العالم العالية قد عدلت كثيرا بواسطة جليديات الجبال .

والجليدية (٢) كتلة من الجليد المتحرك . وتتشكل الجليديات نتيجة لتراكم الثلج في مناطق يتكون فيها الثلج أكثر مما يذوب في معظم السنين . ويجب أن تصبح تراكيمات الثلج سميكة بما يكفي لأن تتبلور إلى جليد . وتعتمد عملية التبلور على ضغط الثلج بفضه على بعض وهذا يحول الثلج الخفيف القابل للرسم إلى بلورات جليدية صغيرة . وتصبح البلورات الصغيرة أكبر مع زيادة الضغط (الشكل (١٠ - ١)) . وهذه العملية مشابهة تماما لتحول الحجر الرملي إلى



الشكل (١٠ - ١) . بعض خطوات تحول الثلج إلى جليد . ويمكن لقطر بلورات الجليد أن يصل إلى عدة بوصات في الجليديات .

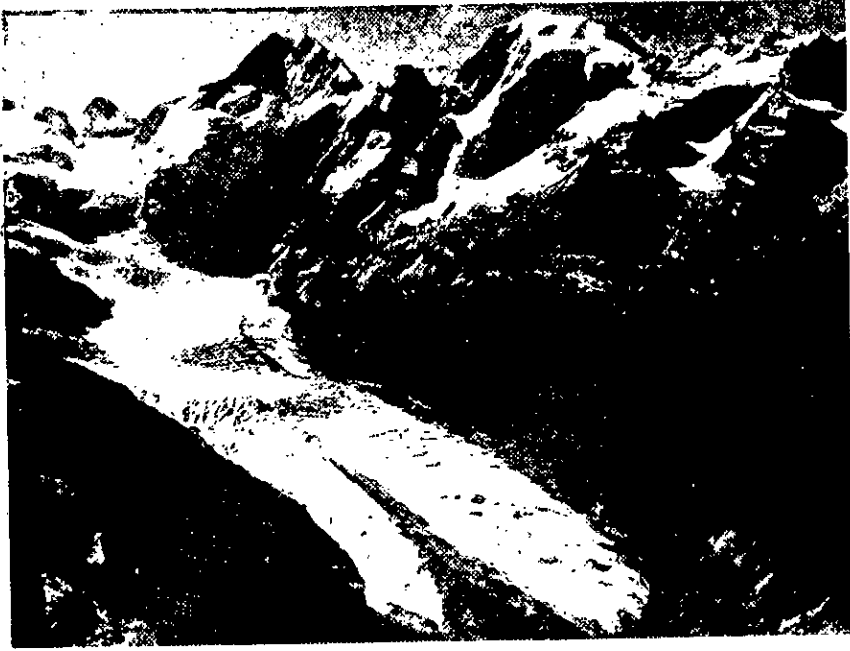
كوارتزيت والحجر الجيري الى رخام . ان ميل الثلج لان يتبلور ويشكل بلورات كبيرة معروف جيدا لكل من ترحلق او عاش في مناطق ثلجية . وعموما ، فان رقائق الثلج الساقطة تكون خفيفة وصغيرة ، غير انه بعد بضعة ايام مشمسة او في الربيع ، فانها تصبح اكبر بكثير على السطح وبالحفر فانه سيكشف عن بلورات اكبر . ومنذما تصبح كمية الجليد التي تشكلت بهذه الطريقة كبيرة بما يكفي لها ان تنساب بسبب وزنها ، فان جليدية تتولد والجليد (كما نراه) ، مادة هشة (سهلة للكسر) ، ومن ثم فانه يمكن ان يبدو غريبا ان تنساب جليدية بسبب وزنها (كما يفعل القطران) ، وعلى كل حال ، فان كتلة جليدية بسماكة بضع مئات من الاقدام تكسر في كسائل لزج جدا .

والجليديات على نوعين رئيسيين : الالبية او جليديات الجبال ، والقارية وهي الاكثر اتساعا وهذه لا توجد في الوقت الحاضر الا بالقرب من القطبين ، غير ان جليديات الجبال توجد على كل خطوط العرض حيث توجد الجبال ذات الارتفاع الكبير .

جليديات الجبال

Mountain glaciers

تتطور جليديات الجبال (الشكل (١٠ - ٢)) في وديان نهري موجودة اصلا اخفض مما يحيط بها فبذلك تصبح اماكن لتراكم الثلج . وعندما يتشكل جليد بشكل كاف فان الجليدية تبدأ بالحركة نحو اسفل الوادي . ويعتمد امتدادها نحو اسفل الوادي على كمية الجليد الجديد المتشكل وعلى كمية الذوبان التي تحدث سنويا . وكلما امتدت الجليدية نحو اسفل الوادي ، فان كمية الذوبان تزداد كل سنة حتى تصل الى درجة تصبح فيها مساوية لكمية الجليد الجديد المتضاف . وتعتبر مثل هذه الجليدية في حالة توازن . فاذا زادت كمية الثلج المتساقط او اصبح الصيف ابرد ، فانها ستتقدم ، واذا تناقص تساقط الثلج او اصبح الصيف اكثر حرارة ، فانها تاخذ بالذوبان وتراجع . وعلى كل حال ، فاننا نحتاج اليه هو تساقط الثلج على نحو كالمعتاد او اكثر لمدة سنة او سنوات اي



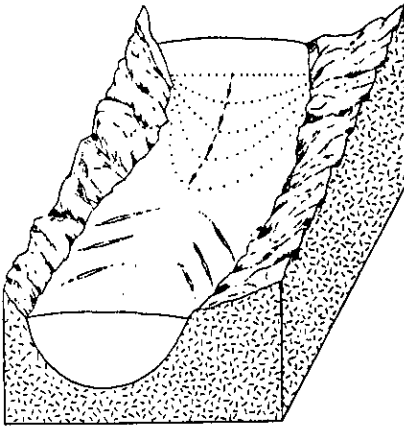
الشكل (١٠ - ٢) : جليديات الجبال . تلتقي عدة جليديات جبال في هذا الوادي .
لاحظ الرسوبيات على سطح الجليد والمورينات على جانبي الوادي وتفصل أيضا بين السنة
الجليد من الجليديات المختلفة .

ليصبح الثلج جليدا وتتكون طلائع الجليدية . وهذا يعني انه بالرغم من ان الجليدية حساسة للتغيرات المناخية ، فانها تميل الى معادلة تغيرات تساقط الثلج والحرارة على مدى عدد من السنين . ومن ثم فان تقدم أو تراجع الجليديات يعطي بعض المعلومات عن التغيرات المناخية طويلة الاجل . وتدل دراسة الصور القديمة والخرائط ان جليديات مثل 'National Park glaciers' وامكن اخرى قد تراجعت في بضعة العقود الاخيرة . وفي حوالي عام ١٩٤٥ ، بدأت تتقدم من جديد . وانه لمن السابق لاوانه ان يقال ان هذا التغير هو طويل المدى او ان اعادة التقدم هذا سوف يستمر . نقطة واحدة تحتاج الى تأكيد . وهي ان جليد الجليديات دائما يتحرك نحو اسفل الوادي ، حتى عندما يكون مقدم الجليدية اخذ بالتراجع بسبب الانصهار .

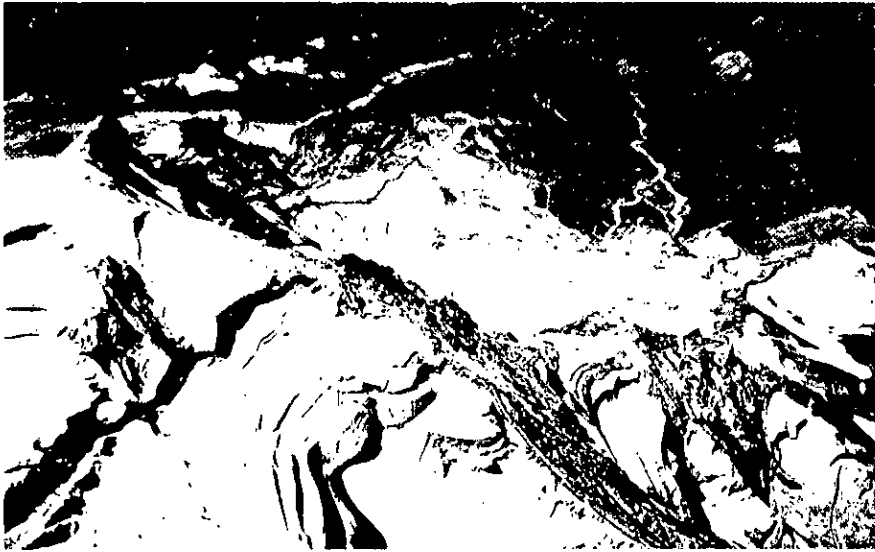
ويمكن قياس حركة جليد الجليديات وذلك بادخال مجموعة قضبان محددة الاماكن بدقة في الجليدية ، ثم القيام بعملية مسح دورية عليها . وكما هو متوقع (وبسبب الاحتكاك) فان جوانب الجليدية تتحرك ببطء اكبر من مركزها . وتكون

الاقدام المئة او المائتان العليا من الجليدية هشة ، ومن ثم فان سرعات الانسياب المختلفة على السطح تفتح شقوقا كبيرة في المنطقة الهشة ، (الشكلان (١٠ - ٣) و (١٠ - ٤)) . وتتنوع حركة جليديات الجبال من اقل من بوصة في اليوم الى اكثر من ٥٠ قدما في اليوم .

وينتج الحت بواسطة جليديات الجبال مناظر جبلية اخاذة من مثل وادي

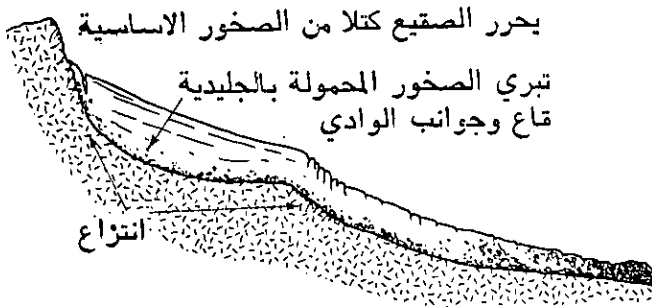


الشكل (١٠ - ٣) : حركة الجليديات وتطور التصدعات . وتتضح الحركة من المواضع المتعاقبة لقضبان حديدية مثبتة في الجليد في الجزء العلوي من الشكل . ان افتتاح التصدعات في الثلج الهش نتيجة الحركة الاكبر وسط الجليدية ، واضح في الجزء الاسفل من الشكل .



الشكل (١٠ - ٤) : نظرة علوية مائلة لجبل هودبولاية اوريفون ، وترى الجليديات . لاحظ الوديان التي لها شكل U

يوزمايت (٢) في السيرانيفادا في كاليفورنيا (٤) وتحت الجليديات بانتزاع كتل كبيرة من طبقة الصخر بطريقة الانتزاع . وتتم عملية الانتزاع هذه بواسطة مياه الانصهار التي تنساب داخل الفواصل في طبقة الصخر ، و أخيرا تتجمد مع كتلة الجليد الرئيسية ، وهذه تسحب في تقدمها الكتل المنفصلة من طبقة الصخر . وتحتمل هذه الكتل الجليد المتحرك مع ركام السفح (الذي يتساقط على الجليدية من جوانب الوادي وقاعه) ، (الشكل (١٠ - ٥)) . ويغير الحت الجليدي شكل



الشكل (١٠ - ٥) : مقطع طولي في جليدية جبلية توضح تطور السيرك بواسطة الانتزاع ، plucking ، ونغير شكل الوادي بالانتزاع والكحت abrasion . ويرى هذا المخطط مرحلة مبكرة في تطور وادي الجليديات .

و ديان الينابيع التي تحتلها الجليديات ، ويحدث معظم الحت عن طريق الانتزاع ، غير أن البري كثيرا ما يلطف أو حتى يصل الاشكال الناتجة . ويختلف الوادي الجليدي عن وادي الينبوع في انه تعمق ، خاصة بالقرب من بدايته ، واصبحت الجوانب اقرب الى الرأسية حيث يتغير المقطع العرضي من الشكل ٧ الى الشكل U (الاشكال (٦-١٠) و (٧-١٠) و (٨-١٠) . ويكون الحت الجليدي اكثر فعالية بالقرب من رأس الجليدية (اي بدايتها) ، ويؤدي التعمق نحو اسفل الوادي هنا الى تسطح في انحدار الوادي .

ان هذا التعمق ، مع وقوف جوانب بداية الوادي رأسية شديدة الانحدار ، تنتج (هذه جميعا) شكلا يشبه المدرج الكبير أو بعبارة ادق يشبه كأس شاي خفيا قطع رأسيا الى نصفين ، ويسمى هذا الشكل بالسيرك (٥) (الشكل (١٠ - ٥)) .

ويميز الوادي الناتج عن الحت الجليدي بان له شكل U وبوجود السيرك عند بدايته ، ووجود الاخاديد والخدوش (٦) واللمعان بسبب البرى (الشكل (١٠ - ٩)) . وبالإضافة الى ذلك ، فان أية تلة صغيرة أو عقدة (٧) في الوادي لا بد ان تكون الجليدية قد مرت من فوقها ، وعليه فانها تصبح بالبرى مستديرة وملساء في الجانب المعرض للجليد ، وتتعمق في الجانب المحمي بعملية القلع ، (الشكل (١٠ - ١٠)) . ان كثيرا من الوديان المتجلدة (٨) تكون منبسطة تقريبا . وحيث تنكشف صخور اكثر مقاومة تظهر ارتفاعات أو درجات (الشكل (١٠ - ١١)) و (١٠ - ١٢) . وتميل الجليدية المتحركة نحو اسفل الوادي الى



الشكل (١٠ - ٩) :

أدلة الكحت الجليدي .

١ - غرائب ملمع ومحزوز
grooved بسبب

تأثر قاعدة الصخر

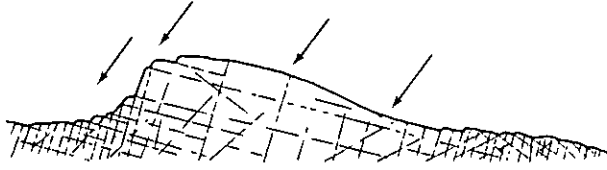
يجليدية متحركة . ب -
grooved هزوز

جليدية محطمة جزئيا

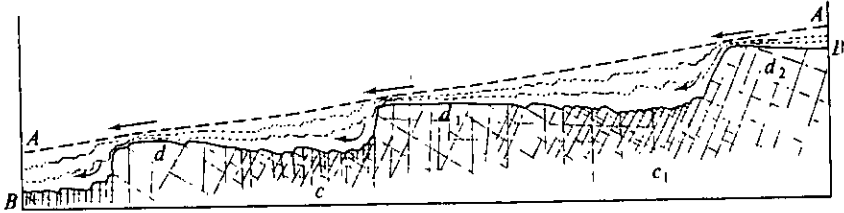
بالتجوية الميكانيكية .



ب



الشكل (١٠ - ١٠) : تلال صغيرة من صخور مقاومة أصبحت ذات ميل خفيف بسبب الكحت على الجانب المواجه للجليديات وأصبحت ذات ميل كبير بسبب الانزاع على الجانب المخبئ . وترى الأسهم اتجاه القوة الرئيسية للجليدية المتحركة من اليمين الى الشمال . ويمكن رؤية الفواصل في الصخر .

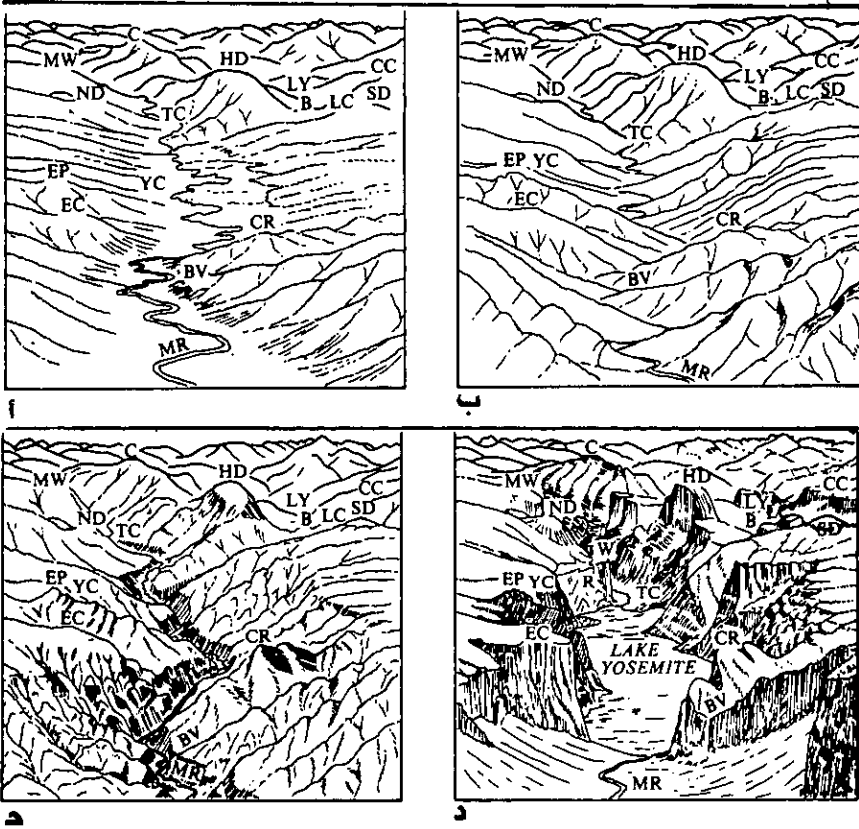


الشكل (١٠ - ١١) : نشأة الادراج في الواديان الجليدية AA هو خط الوادي قبل الجليديات و BB الوادي بعد الجليديات . أما الصخور ذات الفواصل المتقاربة في c و c_1 فانها سرعان ما تقطع بالجليدية ، لكن الصخور ذات الفواصل المتباعدة مثل d, d_1, d_2 فانها تصغر بواسطة الكحت .



الشكل (١٠ - ١٢) : وادي جليدي يوضح ادراج الصخور والبحيرات في هذه الادراج .

تقويم الوادي ، لان الجليدية لا تستطيع أن تدور فجأة كماتدور المياه . ولذلك اثره في ازالة الرؤوس والنتوء من الجزء الداخلي من منحى الوادي . ان كمية الجليد في جدول رئيسي مصدره قرب قمة سلسلة جبال تكون عموما اكثر بكثير من كمية الجليد في جدول رافد فرعي ومن ثم فان الجدول الرئيسي يحت بالجليد اعمق من الرافد . وبعد ان يذوب الجليد ، فان الجدول الرافد يجري في واد يدعى بالواد المعلق ، لانه يكون اعلى من الجدول الرئيسي الذي يصب فيه محدثا تسلا (الشكلان (١٠-١٣) و (١٠-١٤) .



الشكل (١٠ - ١٣) : تطور وادي يوزمايت موضعا لحت النهرى والحت الجليدي .
 ١ - مرحلة الوادي العريض قبل عملية رفع سيرانيفادا . ب - بعد الرفع ، قطعت الانهار حوالي ٧٠٠ قدم عمقا . ج - بعد عملية الرفع الثانية ، فان نهر ميرسد Merced عمل اخذودا حوالي ١٣٠٠ قدم تحت المرحلة ١ . د - وادي يوزمايت مباشرة بعد تراجع الجليديات .
 سدت البحيرة بمورينات جليدية وهذه البحرية هي قاع النهر الحالي .

B, Mount Broderick; BV, Bridalveil Creek; C, Clouds Rest; CC, Cascade Cliffs; CR, Cathedral Rocks; EC, El Capitan; EP, Eagle Peak; HD, Half Dome; LC, Liberty Cap; LY, Little Yosemite Valley; MR, Merced River; MW, Mount Watkins; ND, North Dome; R, Royal Arches; SD, Sentinel Dome; TC, Tenaya Creek; W, Washington Column; YC, Yosemite Creek. From F. E. Matthes, U.S. Geological Survey, Professional Paper 160, 1930.



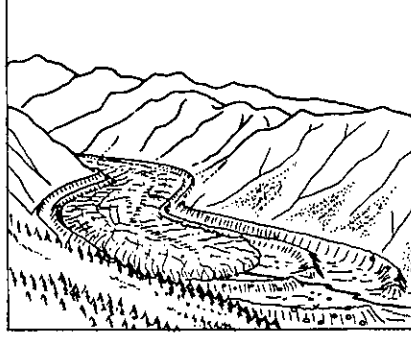
الشكل (١٠ - ١٤) : وادي يوزمايت . لقد اوضح الشكل (١٠ - ١٣) خطوط التطور ، بينما يري الشكل (٢١ - ٢٠) نظرة جوية لهذا الوادي . لاحظ ان النهر الحالي صغير جدا بالمقارنة بحجم الوادي .

وحتى الجزء الاعلى من السلسلة الجبلية الواقع هو فوق مستوى الجليديات، ينتج اشكالا مميزة . وينتج فعل الصقيع المتزايد هنا نتوءات صيقة محززة تمتد حتى تصل الى القمة . وتكون القمم اشكالا هرمية ذات رؤوس تدعى القرون (٩) تنتج في الغالب عن الحث الراسي الناجم عن تكون السيرك . (الشكلان (١٠-٢) و (١٠ - ١٢)) .

وترسب الجليديات ايضا البقايا والنفايات التي تحملها . وتدعى جميع انواع رواسب الجليديات بركام الجليديات اما رسوبيات الجليد نفسه فتسمى التل (١٠) .

وتحمل المادة الموجودة في الجليدية بواسطة الجليد الى المقدمة ، حيث تترسب لتشكل صخور المقدمة المسماة بالمورينات (١١) وهي معالم مقدمة جليدية . (الشكل (١٠-١٥)) . ولان الجليدية تحمل حجوما متنوعة من الحبات ، فان المورينات تكون خليطا غير مفروز تختلط فيه جلاييد ضخمة مع

حبات من جميع الحجم حتى الغرين وما هو أنعم منه (الشكل ١٠-١٦) وكثيراً ما يكون الحمص مضلعاً ومخدشاً بالبري ولان مقدمة الجليدية منحنية ، فإن



الشكل (١٠ - ١٥) : مخطط ملاني لجليدية ذات مورينات متتامة ، بسبب اللويان المتراجع . ويرى الشكل المورينات النهائية والجانبية .



الشكل (١٠ - ١٦) : مورينات جليدية تحوي عدة أنواع من الصخور ومن كل الحجم من الجلود وحتى الصلصال .



الشكل (١٠ - ١٧) : بركة نشأت عن لويان كتلة جليدية مدفونة في المورينات . لاحظ

حجوم الصخور المختلفة في المورينات . Baird Glacier, southeastern Alaska

المورينات النهائية تكون منحنية ظاهرة الانحناء وتنتشر المورينات على جوانب الجليدية كمورينات جانبية . وتنتج المورينات الجانبية الى حد كبير بنفس طريقة المورينات النهائية ، وكنتيجة لذوبان الجليد المتحرك ببطء على جوانب الوادي (الشكلان (١٠-٢) و (١٠-١٥) . ان كثيرا من الصخور المترسبة بواسطة الجليديات تكون عادة مخدشة او مخططة من البرى خلال عملية النقل . ان ماء الجليد المذاب الذي يترك مقدمة الجليدية يحمل ويرسب مواد جليدية ، مشكلا رسوبيات مجرمة تشكل في بعض الحالات طبقات سميكة . وتتلون مياه الجليد في الجليديات النعالة بلون ابيض بسبب مادة بيضاء تدعى مسحوق الصخر (١٢) وهو ينتج من الحت والتاكل في الجليدية . وتشبه هذه المادة الصلصال ، غير ان الفحص المجهرى يبين انها تتكون من حبات معادن ناعمة وليست صلصالا . وهي مصدر رقائق الصلصال (١٢) الذي سيبحث لاحقا . وعندما تنصهر الجليدية ، فان حملتها المنقولة تسقط حيثما هي وتشكل مورينات ارضية . ومع الاتصهار ، فان مكان كتل الجليد المدنون في المورينات الارضية ، يصبح منخفضات وبركا صغيرة (الشكل (١٠ - ١٧)) .

الجليديات القارية

Continental glaciers

ان العمل الجيولوجي للجليديات القارية مشابه جدا لعمل الجليديات الجبلية . غير ان اثارها في الحت اقل بكثير ، وهي في الغالب محصورة في جعل التضاريس اكثر استدارة وفي تعرية كثير من التربة ووجوه الصخور (الكشلال (١٠-١٨) و (١٠-١٩) . اما رسوبياتها فهي مثل رسوبيات الجليديات الجبلية ، لكنها اكثر اتساعا . ولقد ساعدت واحدة من الرسوبيات في التعرف على الجليديات القارية تلك هي الجلاميد الشاذة (الشكل (١٠-٢٠)) . ويطبق هذا المصطلح على الجلاميد ، التي يزيد وزن بعضها حتى على ١٨٠٠٠ طن ، وهي غريبة عن موضعها الحاضر . وفي بعض المناطق ، فان وجود جلاميد شاذة واضحة يمكن ان يتتبع حتى منشئها ، وهي تشير الى مسار الجليدية .



الشكل (١٠ - ١٨) : منظر جوي لقمة جبل واشنطن بولاية نيوهاشبائر المرتفعة ٦٢٨٨ قدم ، أعلى قمة في الشمال الشرقي . لقد اعتلت الجليديات القارية هذه النقطة ولطفت من تضاريسها ، وفعلت كذلك لجميع النقاط العالية في الصورة .



الشكل (١٠ - ١٩) : منطقة تحت بالجليد قرب بحيرة هيدن في كندا Hidden Lake, Northwest Territories, Canada. القارية التربة وانتجت منخفضات صغيرة وكثيرة . أصبحت بحيرات . ويمكن رؤية بنى طبقات الصخور . المناطق فاتحة اللون هي من الفرائيت ، أما الخطوط البيضاء فهي من قواطع بجمانيت ، والمظهران غير متوافقين من تورق الصخور . صورة جوية مائلة .

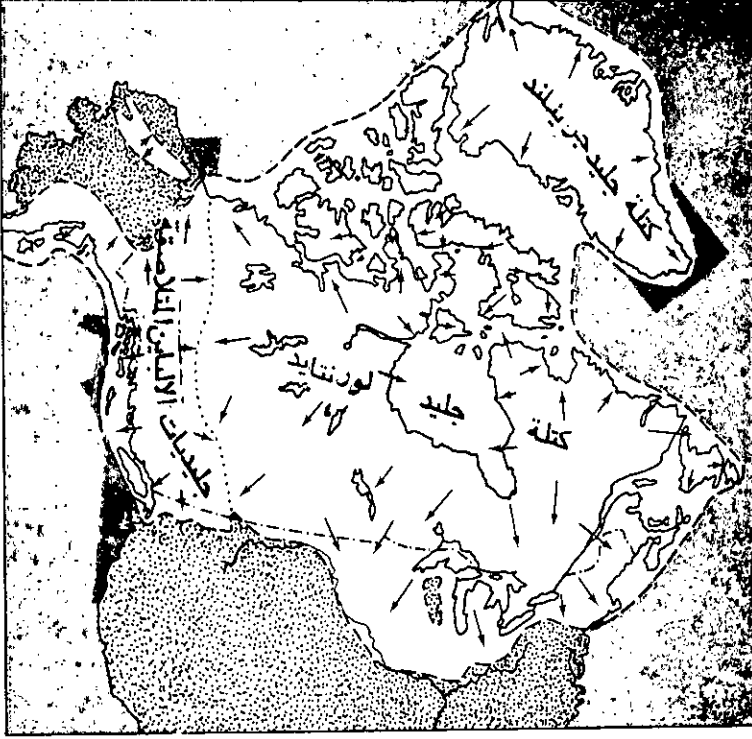


الشكل (١٠ - ٢٠) : جلابيد شاذة اسقطت من جليدية عندما

ذابت .

وقد شغلت جليديات قارية اجزاء من امريكا الشمالية واوروبا في زمن حديث جيولوجيا ، وهي تحتل الان جرينلاند والمنطقة القطبية الجنوبية . وفي الفترة الجليدية الحديثة ، كانت هناك اربعة ازمئة رئيسية في تطور الجليديات في كل من امريكا واوروبا . اما في امريكا الشمالية ، فلقد كانت هناك عدة مراكز لتراكم الجليد في كندا . ثم تحركت الجليديات من هذه المراكز في كل الاتجاهات . وعليه ، فانه بالرغم من ان الجليد قد تحرك عموما باتجاه الجنوب في الولايات المتحدة ، فقد تحرك باتجاه الشمال في شمال كندا . ولا يوجد معنى للقول بان العصر الجليدي الاخير قد نتج بسببه تحرك الجليد من قرب القطب الشمالي نحو الجنوب ، ولقد تم التعرف على اربع موجات جليدية اعتمادا على الملاحظات الحقلية . ففي بعض الاماكن فان مورينات جديدة وغير مجواه (١٤) تغطي مورينات مجواه وهذه بدورها تغطي مورينات مجواه جدا . ولقد ادى تتبع مثل هذه العلاقات الى التعرف على اربع مراحل رئيسية في الحدود الموضحة على الخريطة في (الشكل (١٠-٢١) . وليست المورينات ، على كل حال ، هي الرسوبيات الوحيدة التي تركت بواسطة الجليديات القارية . فلقد دفنت كتل من الجليد في المورينات ، في بعض الاماكن ، وعندما انصهر الجليد تشكلت حفر واغوار وتكونت في كثير من هذه الاغوار بحيرات (الشكل (١٠ - ١٧) .

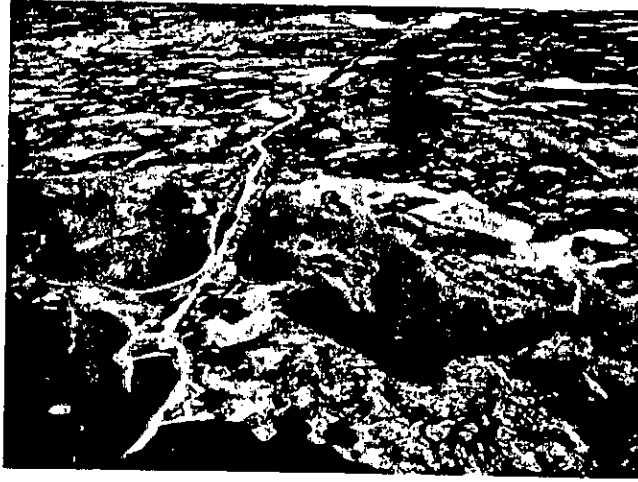
وهناك رؤوس طويلة متعرجة تسمى الاسكرات (١٥) ترتفع من ١٠ أقدام الى ٥٠ قدما وتمتد طولها من جزء من الميل الى اميال كثيرة . ويعتقد بانها المادة



الشكل (١٠ - ٢١) : الحدود القصوى لتوسع طبقات جليد البلايستوسين.

التي ملأت القنوات المائية الناتجة عن انصهار الجليد التي كان تجري فيها المياه تحت جليد الجليديات (الشكل (١٠ - ٢٢)) . والسنانات الجليدية (١٦) تلال ترتفع من ٢٥ الى ٢٠٠ قدم وهي تنتشر على طول الجدول ، وتمتد عدة مئات من الاقدام . اما منشورها فغير معروف ، لكن شكل اصطفاؤها في اتجاه الجدول يوحي بانها تشكلت تحت الجليد المتحرك . وهي غير متناظرة ، واطرافها العريضة تقع في اتجاه منشأ الجليد (الشكل (١٠ - ٢٣)) .

ولقد بدأت احدث جليدية قارية من العصر البلايستوسيني (١٧) قبل حوالي ٣ ملايين سنة في ايسلندة . ولقد قدر هذا من درجة تجوية الرسوبيات ومن كمية التربة المنتجة بين موجتين جليديتين ومن دراسة المستحاثات ومن معلومات اخرى حصلنا عليها بطرق متنوعة . ولقد بدأت اخر موجة جليدية قبل حوالي ١٩.٠٠٠ سنة ، ووصلت الى قمة تقدمها قبل حوالي ١٩.٠٠٠ سنة وتراجعت



الشكل (١٠ - ٢٢) : Esker . ان المقعر الطويل المتوي قليلا هو الاسكر ، ومن المحتمل أن يكون اصله قناة جليدية ذائبة تحت جليدية قارية . صورة جوية مائلة .



الشكل (١٠ - ٢٣) : السناعات الجليدية . لاحظ الجلايد الكثيرة على الواحد المقرب في الصورة .

قبل حوالي ١٠.٠٠٠ سنة . ثم حصل تقدم ثانوي آخر حصل بين ١٥٥٠ م - ١٨٥٠ م ويسمى احيانا العصر الجليدي الصغير . وجميع هذه التواريخ معروفة بشكل دقيق الى حد ما من دراسات نظائر الكربون . وترتكز هذه الطريقة على حقيقة ان الكربون العضوي يحوي نسبة ثابتة من نظائر الكربون عندما يتشكل ، غير ان هذه النسبة تتغير بعد موت الكائن الحي بسبب التحلل الاشعاعي . لواحدة من نظائر الكربون C^{14} والطريقة ليست ملائمة للمادة التي يتقدم عمرها عن ٤٠.٠٠٠ سنة تقريبا . ولقد بحثت طرق التاريخ الاشعاعي في غير هذا المكان .

وقبل استعمال الكرونومتر ، كانت طرق أخرى تستعمل وخاصة دراسة رقائق الصلصال . وتشبه هذه الطريقة الى حد كبير دراسة حلقات الشجرة ، لأنه قد افترض انها رسوبيات سنوية في بحيرات جليدية . فقد ترسب الجزء القائم من كل رقيقة خلال الصيف والجزء الفاتح في الشتاء (الشكل (١٠ - ٢٤) .



الشكل (١٠ - ٢٤) : الرقائق الرسوبية . تكوين الرقائق الرسوبية في تكوين نهر Green River بولاية كولورادو . قطر المساحة المصورة ٢ بوصة .

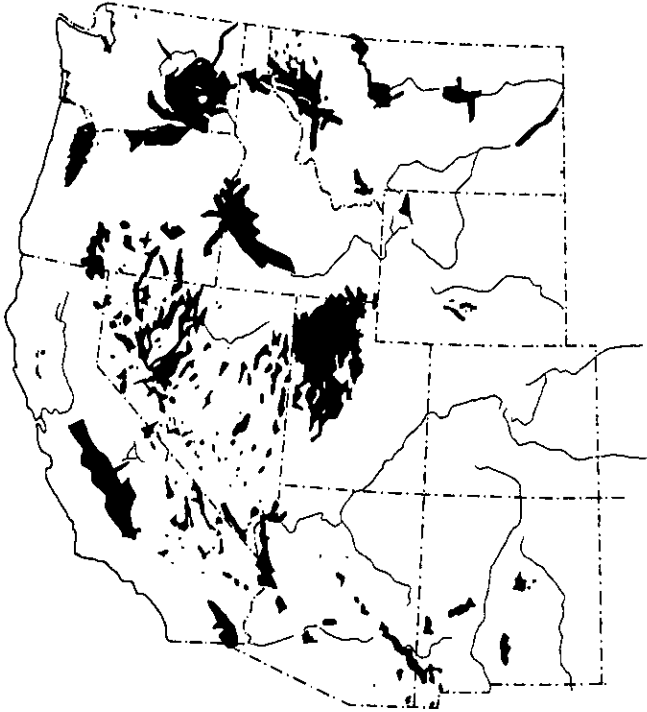
وعليه فان الرقيقة يسجل ظروف المناخ ، ثم يقارن بتتابع السماكات النسبية من بحيرة لبحيرة حتى تغطي فترة حياة الجليدية ، ثم يحسب عدد الرقائق الاجمالي . ويبدو انه بسبب خطأ المقارنة فقد اعطت الطريقة تقديرات للعمر عالية كثيرا .

سبب حصول الجليديات

Cause of glaciation

اذا اردنا ان نكتشف سبب حصول للفترات الجليدية ، فانه لا بد اولاً من النظر في الظروف التي تشكلت فيها الجليديات . يجب أن يكون متوسط درجة الحرارة اقل مما هو عليه الان ، لكن ليس اقل كثيراً ، ولا بد أن يكون الاتصباغ اعلى . وسيؤدي هذان الظرفان الى تراكم الثلج الذي يشكل الجليديات . ولا بد لدرجة الحرارة من أن تكون منخفضة بما يكفي لتأمين هطلان المطر على شكل ثلج ، غير انها اذا كانت منخفضة جداً فانها سوف تمنع الهطلان . وتتضح النقطة الاخيرة

هذه من عدم تشكل الجليديات في كثير من الاقاليم الباردة جدا الان وذلك بسبب قلة الهطلان . وتتضح شدة الهطلان — خلال اجزاء من العصر الجليدي على الاقل — من البحيرات الهائلة المتشكلة في مناطق جنوب الجليديات حيث كانت هذه المناطق ذات حرارة اعلى من الحرارة التي يتراكم عليها الثلج . ولقد تشكلت هذه البحيرات في المنطقة المقعرة من غرب الولايات المتحدة ، وما بحيرة الملسح العظمى الا بقية صغيرة لبحيرة بونفيل (١٨) التي غطت كثيرا من شمال غرب ولاية يوتا . ولقد غطت بحيرات اخرى مناطق كبيرة من نيفادا . وليس بعض البحيرات المالحة الحاضرة ، مثل كارسون سينك (١٩) ، الا بقايا لها (الشكل (١٠-٢٥)). ولقد اصبحت هذه البحيرات مالحة ، لانه بدون ان يكون لها منافذ الى البحر ، فلج المادة المذابة تزداد وتزداد بينما التبخر يبقى مستواها ثابتا الى حد ما . لقد وضع عدد من النظريات حول منشأ الجليديات . والنظرية الناجحة هي



الشكل (١٠ - ٢٥) : خريطة تري البحيرات المعروفة في الازمنة الجليدية في غرب الولايات المتحدة .

ذلك التي يجب أن تفسر تغيرات المناخ التي بحثت قبل قليل وان تطل المراحل الأربعة المستقلة في العصر الجليدي الحديث وأن تطل أيضا فترات الجليديات الأخرى في مناطق مختلفة من الأرض . ولقد حصلت الفترات الجليدية الأخرى قبل حوالي ٦٠٠.٢٧٥ مليون سنة . أما الحديثة منها ، وهي معروفة أكثر ، فقد حصلت في أفريقيا والهند وأستراليا — بعيدا عن أقطاب الأرض الحالية .

وفيما يلي النظريات الرئيسية :

١ — تغيرات في كمية الطاقة المستقبلية من الشمس وذلك إما لسبب تغيرات في عطاء الشمس (الطاقة الناتجة عن الشمس) أو بسبب تغيرات في كمية الطاقة التي تخرق غلافنا الجوي . وليس هناك أدلة تقترح أي تغيرات في الطاقة الناتجة عن الشمس من النوع الذي يلزم لمساعدة هذه النظرية . إذ أن وجود الضباب (٢٠) في الجو — وربما من البراكين — يمكن أن يبرد الأرض ، كما أن هذا التأثير كاف ليسبب تطور الجليديات فاته أمر قابل للنقاش . أن نقصان كمية ثاني أكسيد الكربون في الجو يؤدي إلى تبريد الأرض ، لأن هذا الغاز يسمح للطاقة الإشعاعية الآتية من الشمس أن تمر من خلاله ، لكنه لا يسمح للاشعاعات الأرضية أن تترك الأرض . وعليه فإن الغلاف الجوي يعمل تماما مثل البيوت الزجاجية ، وعلى كل حال ، فانه من المشكوك فيه أن التغيرات اللازمة في كمية ثاني أكسيد الكربون أمر يحتمل وقوعه .

٢ — حركة القارات النسبية (انسيحاح القارات (٢١)) . لقد اقترحت هذه الفكرة ، غير أنه يمكن أن لا تكون محتملة كما بحث في الفصل الثامن عشر .

٣ — تغيرات في مواقع قطبي دوران الأرض . ويمكن لهذه أن تغير مناخ بعض المناطق بتحريكها نحو القطبين الباردة . أن حركات القطبين الدورية المنتظمة ، وحركات الانقلاب والاعتدال وغيرها من الحركات التي ستذكر لاحقا ، معروفة جيدا ، لكنها ليست كبيرة بما يكفي لتسبب الجليديات ، وأكثر من ذلك ، فسلان فترات الجليديات المعروفة لا تتطابق مع هذه الحركات . وعلى كل حال ، فإن حركات أكبر يمكن أن تكون قد حصلت في الماضي . رغم أنه لم يقترح بعد سبب معقول لمثل هذه الحركات .

٤ — تغيرات في دورة مياه المحيطات . وهذه فرضية قدمت حديثا وتبسط واعدة ، وكافية للفترات الجليدية الحديثة . وتبدأ الفرضية بحيط قطبي شمالي (٢٢) خال من الجليد . وبموقع القطب الحالي وحركة غلافنا الجوي الحالية . فان المحيط الشمالي الخالي من الجليد يتسبب في الهطلان الشديد اللازم لبدء تقدم جليدي . وفي منتصف التقدم الجليدي سيتجمد القطب الشمالي ، قاطعا كثيرا من امدادات الرطوبة . ويستمر الهطلان حتى يصبح شمال المحيط الاطلسي باردا بما لا يسمح بتزويد رطوبة كافية . ويمكن عندها ان يبدأ الانصهار ويستمر حتى يصبح المحيط الشمالي خاليا من الجليد مرة اخرى . ثم يعد المسرح لبدء دورة جديدة .

يمكن لهذه الفرضية ان تملل الفترات الجليدية اذا كانت مواعع القطبين كما هي في الوقت الحاضر فقط . اما اذا كان القطبان فوق المحيط المفتوح ، فان حركة الغلاف الجوي لا يمكن ان تطور فترات جليدية . وعليه ، وحتى نبدأ فترة جليدية . لا بد للقطبين من ان ينتقلا . وعليه فان هذه النظرية تملل الموجات الجليدية الاربع في الفترة الجليدية الحديثة ، ويمكنها ايضا ان تفسر الفترات غير المنتظمة لجليديات اقدم ، ولكن ليس الجليديات الاقدم في افريقيا والهند بعيدا عن الاقطاب . وتقترح الدراسات الحديثة ان جليد القطب الحالي يمكن ان يكون أكثر قدما من آخر تقدم جليدي ، الامر الذي يلقي ظللا من الشك على هذه النظرية . ويجب ان يكون واضحا من هذه المناقشة ان الظروف المناخية التي سببت الجليديات لها فعل بعيد الاثر ايضا ، وحتى بعيدا عن المناطق ذات التراكم الجليدي الفعلي . ويقدر ان سطح البحر قد انخفض حوالي ٥٠٠ قدم خلال الموجات الجليدية ، فاذا انصهرت جليديات الوقت الحاضر ، فسيرتفع سطح البحر من ٨٠ الى ٢٠٠ قدم .

اسئلة

١. — ١ ما الجليدية ؟
١. — ٢ النوعان الرئيسيان للجليديات هما و
١. — ٣ ما التغيرات التي تحدثها جليديات الجبال في وديانها ؟
١. — ٤ كيف توضح الجليديات الحاضرة تغيرات المناخ ؟
١. — ٥ لماذا تتشكل الشقوق على سطح الجليديات ؟
١. — ٦ صف عمليات الحت الجليدي .
١. — ٧ ماهي اثار الحت للجليديات القارية ؟
١. — ٨ ما الجلاميد الشاذة الجليدية ؟
١. — ٩ ما عدد المراحل الجليدية المميزة في عصر البلايستوسين ؟
١. — ١٠ الى اي جهة يتحرك الجليد في شمال كندا ؟ وما هو الدليل ؟
١. — ١١ ما نوع المناخ المفضل جدا لتطور الجليديات ؟
١. — ١٢ ما الادلة التي لدينا عن المناخ خلال الازمنة الجليدية في جنوب غرب الولايات المتحدة ؟
١. — ١٣ رتب بعض الاسباب المقترحة للجليديات القارية .
١. — ١٤ لخص النظرية الحديثة في نشأة الجليديات والتي تعتمد على تغيرات في تيارات المحيط بين المحيط الشمالي والمحيط الاطلسي .

- ١٠ — ١٥ أي من عوامل النقل الثلاثة (الريح والماء والجليد) يستطيع أن ينقل أكبر الجلايد ؟
- ١٠ — ١٦ كيف تعمل التجوية الكيماوية والحت الجليدي سوية ؟
- ١٠ — ١٧ ماهي أدلة التجلد القاري ؟
- ١٠ — ١٨ كيف تختلف الصخور المترسبة جليديا عن الموجودة في رسوبيات الانهار ؟
- ١٠ — ١٩ كيف تختلف المادة الناعمة في نهر فيه جليديات فعالة في بداية عن المادة في نهر في منطقة غير جليدية ؟
- ١٠ — ٢٠ صف عدة انواع من رسوبيات الجليديات .

مراجع اضافية

- Davis, W. M., *Geographical Essays*, especially "The Sculpture of Mountains by Glaciers," "Glacial Erosion in France, Switzerland, and Norway," and "The Outline of Cape Cod." New York: Dover Publications, Inc., (1909) 1954, 777 pp. (paperback).
- Damuth, J. E., and R. W. Fairbridge, "Equatorial Atlantic Deep-sea Arkosic Sands and Ice-age Aridity in Tropical South America," *Bulletin Geological Society of America* (January, 1970), Vol. 81, No. 1, pp. 189-206. Describes climatic changes far from the areas of glaciation.
- Denton, G. H., and S. C. Potter, "Neoglaciation," *Scientific American* (June, 1970), Vol. 222, No. 6, pp. 101-110.
- Donn, W. L., "Causes of the Ice Ages," *Sky and Telescope* (April, 1967), Vol. 33, No. 4, pp. 221-225.
- Dyson, J. L., *The World of Ice*. New York: Alfred A. Knopf, Inc., 1962, 292 pp.
- Flint, R. F., *Glacial and Quaternary Geology*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1971, 892 pp.
- Hough, J. L., *Geology of the Great Lakes*. Urbana, Ill.: University of Illinois Press, 1958, 313 pp.
- Thornbury, W. D., *Principles of Geomorphology*, 2nd ed., Chapters 14, 15, 16, pp. 345-444. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1969, 594 pp.

الفصل الحادي عشر خطوط الشواطئ

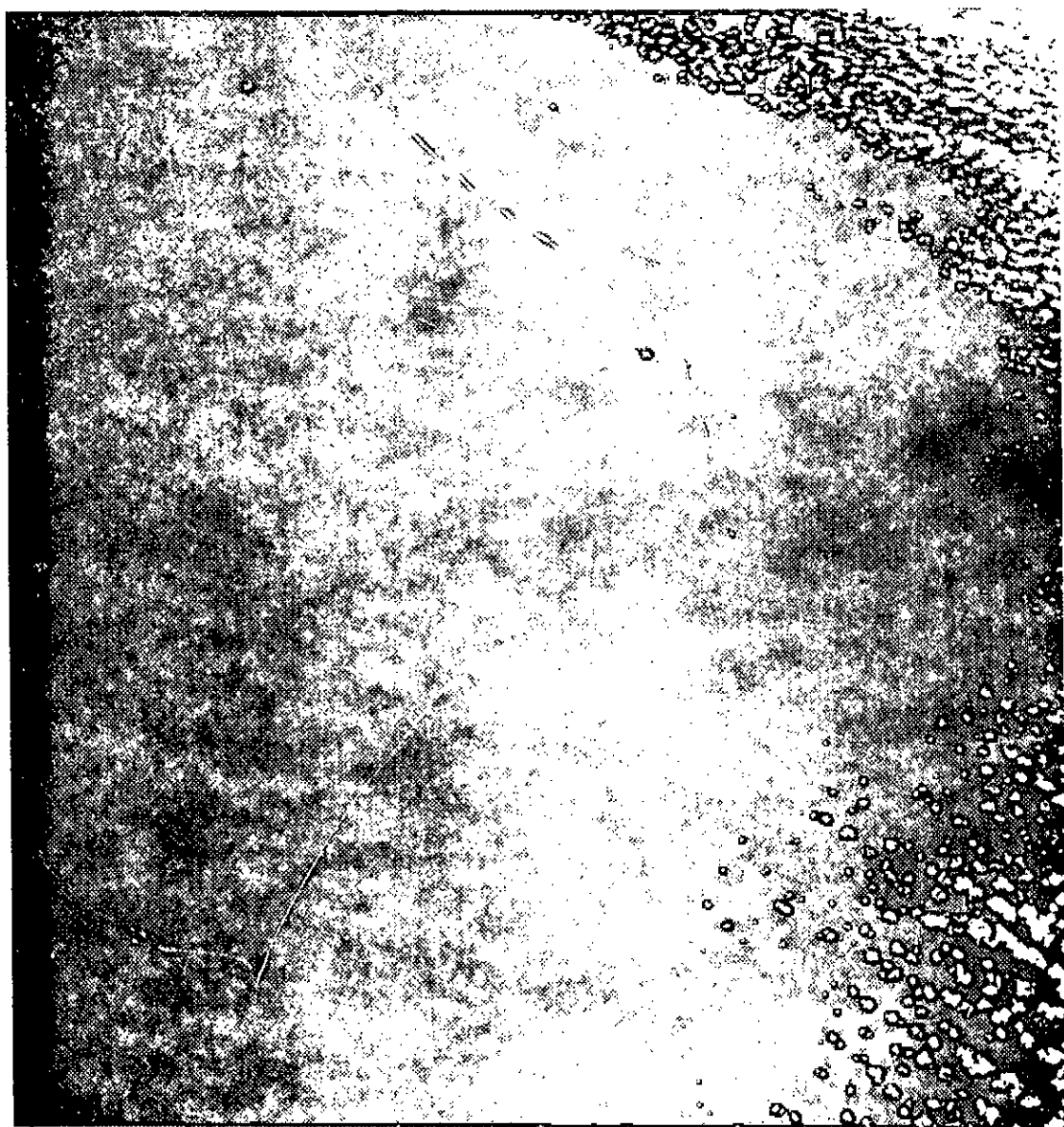
Shorelines

دورة مياه المحيطات
المد والجزر
الأمواج
النحت بالأمواج
النقل بالأمواج
الترسيب بالأمواج
خطوط الشواطئ وتطورها

أسئلة
مراجع إضافية

بلاجات حاجزية ، شمال كارولينا . وتقع Cape Hatteras قليلا الى داخل
المحيط الاطلسي . اما Cape Lookout فيقع قرب اسفل الصورة . (ناسا) .

”



ان الامواج المتكسرة على الشاطئ هي أيضا عوامل تجوية ونقل وترسيب .
ولها طاقة هائلة ، لا بد وان تترك اثرا في نفس المشاهد عندما يراقبها (الشكل
(١١ - ١)) . وواضح بانها عوامل تعرية حتى لقد ظلت سنوات عديدة تعتبر
اكثر اهمية من الانهار التي اثرها اقل وضوحا . وسوف نبحث في اصل الحركات
المختلفة لمياه المحيط قبل بحث عمليات خطوط الشواطئ .

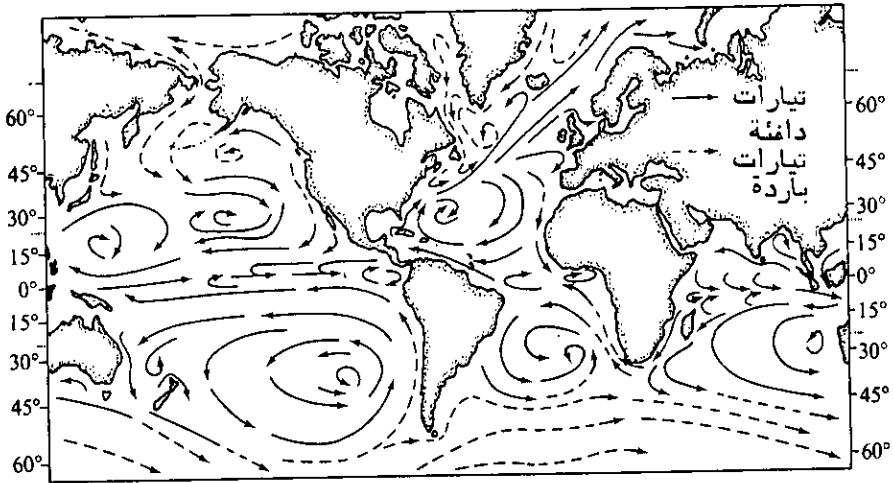


الشكل (١١ - ١) : الامواج المتكسرة عوامل تجوية
المصورة من California Division of Beaches and Parks

دورة مياه المحيطات

Circulation of the oceans

تعزى حركة المياه السطحية في المحيطات الى الريح ودوران الارض فالرياح التي تهب على سطح الماء تدفعه فتجعله يتحرك . وبهذه العملية ، يتولد في بادىء الامر تموجات (١) ثم تليها الامواج . وتكون الدورة التي تنشأ بهذه الطريقة ضحلة لا يتعدى عمقها في الغالب عدة مئات من الاقدام ، ويتحرك فيها الماء ببطء ، غالبا ما بين جزء من الميل الى عدة أميال في الساعة . وتكون حركة المياه دورانية لان دوران الارض والقارات يغيران اتجاه حركتها . فدورة الارض تحرف اتجاه التيارات المائية الى اليمين في نصف الكرة الشمالي ، والى اليسار في نصف الكرة الجنوبي . وتصبح دورة المياه في الجزء الجنوبي من نصف الكرة الجنوبي باتجاه خطوط العرض لمدى وجود قارات تتدخل في مسيرتها (الشكل ١١ - ٢) . وتحدث الدورة العميقة الى حد كبير من اختلاف الكثافات النوعية لمياه المحيط .



الشكل (١١ - ٢) : دورة المياه السطحية للمحيطات .

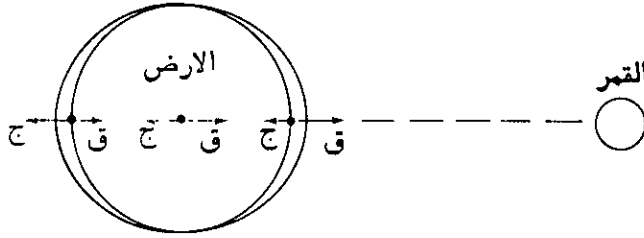
فالمياه القطبية الباردة الثقيلة ، وبالذات مياه القطب الجنوبي (٢) ، تهبط قريبا من القاع باتجاه خط الاستواء و'حيانا الى مناطق أبعد . وعلى النقيض من ذلك ، فان مياه البحر الابيض المتوسط الدافئة ، العالية الملوحة ، بسبب التبخر ، تجري الى المحيط الاطلسي على اعماق متوسطة .

ويلزم دراسة أوسع بكثير مما تقدم حتى يمكن وصف دورة المحيطات بالتفصيل ، ولكن هذه الدورة اقل أهمية ، من الناحية الجيولوجية من الامواج . الدورة المحيطية ، على كل حال ، وسيلة هامة جدا في نقل الحرارة ، وتؤثر كثيرا على الاحوال المناخية في العالم ومن ثم تؤثر على العمليات الجيولوجية .

المد والجزر

Tides

ينشأ المد والجزر جزئيا بفعل الجاذبية ، ولا سيما جاذب القمر . ويرى فكون نيوتن للجاذبية وجود قوة جذب متبادلة بين اي جسمين . ونظرا لأن مياه المحيطات حرة الحركة فانها تغير وضعها بهذه القوة . ومن ثم ، فان الماء على جانب الارض المواجه للقمر يتحرك مقتربا منه مؤديا الى تكوين مد عند ذلك الموضع . وما قد لا يكون على نفس القدر من الوضوح ان مدا آخر يتكون في النقطة المقابلة من الارض في نفس الوقت . ويعزى سبب حدوث انتفاخي المد الى ان قوى الطرد المركزية المتولدة عن دوران الارض تشترك ايضا في تكوينها . ففي اي نظام متوازن كنظام الارض والقمر ، فان قوة الجذب بين الجسمين تتوازن تماما مع قوة الطرد المركزية . ويكون هذا الاتزان محكما في مركزي الجسمين ، الا ان القوتين لا تكونان متساويتين على سطح الارض . فعلى الجانب القريب من القمر ، تكون قوة الجذب باتجاهه أعظم ، أما على الجانب المضاد فتكون القوة الطاردة المركزية العاملة في الاتجاه المضاد أعظم (الشكل (١١ - ٣)) . ونظرا لان القمر يدور حول الارض ، فانه يتأخر ظهوره (٥١) دقيقة كل يوم .



الشكل (١١ - ٢) : اصل المد والجزر . تكون قوة الجذب (ق) بين القمر والارض اكبر من قوة الطرد المركزية (ج) على جانب الارض المواجه للقمر . وتكون القوة الطاردة المركزية اكبر على الجانب الاخر من الارض . وتتوازن القوتان في مركز الارض . (الانفصاح الذي مكبر كثيرا والمسافة بين الارض والقمر مصغرة بشكل كبير) .

وهكذا ، يتعاقب حدوث المد في كل اثنتي عشرة ساعة وخمس وعشرين دقيقة . ويتأثر المد والجزر بقوة جذب الشمس ، وان هذه التأثيرات تتغير مع تغير الفصول . فهذا هو اصل المد والجزر ، الا ان هذا العرض النظري لا يمكن استخدامه في التنبؤ عن ارتفاع المد او الجزر او زمن حدوثه على خط الساحل ، لانها يتأثران بشكل الساحل وبتشكيل قاع المحيط .

وقد تنقل تيارات المد والجزر الرواسب في بعض الامكنة ، ولكن باستثناء هذه الاماكن ، فالمد والجزر ليسا عوامل هامة في النقل والتجوية . ويحدث استثناء ملحوظ حيث يتحرك المد والجزر عبر خلجان صغيرة ضيقة ، فتتذبذب هذه المداخل باستمرار حتى تصبح موانئ وحيدة ولولا المد والجزر لاجلقت (الشكل (١١-٤)). والحركة العمودية للمد والجزر تمتد من بضعة اقدام الى بضعة عشرات اقدام ، وهذا التغير المستمر في حركة المد والجزر يزيد في تعقيد ما يجري على الشاطئ من عمليات .

ويجب عدم الخلط بين تيارات المد والجزر وبين ما يسمى خطأ أمواج المسد والجزر (٢) (وهي أمواج البحر الزلزالية) التي تحدث في المحيطات بفعل الزلازل وهذه منفصلها في الفصل الثالث عشر .

والارض الصخرية الصلبة ، كالمحيطات يتميز شكلها ايضا بقوى المد والجزر . ويصعب قياس هذه الحركة ، الا انها تتراوح بين ٣ الى ٦ انشات . وهناك ظاهرة اخرى للمد والجزر نبحثها في الفصل العشرين .

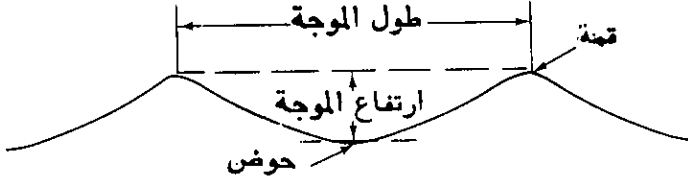


الشكل (١١ - ٤) : صورة عامودية من الجو لدخل خليج إبلانشيكولا في فلوريدا . فقد نقل الجزر الى المحيط الرواسب التي جلبها نهر إبلانشيكولا الى الخليج . فالياه الصافية كانت تتحرك باتجاه المدخل في الوقت الذي التقطت فيه الصورة ، في حين كانت المياه الفسّر صافية تيارا عكرا في المحيط . وتظهر في أعلى يمين الصورة سحب من الرواسب الدقيقة التي نقلت بالعمل الموجي الى الشاطئ .

الامواج

Waves

يمكن أن توصف الامواج بارتفاعها وطول موجتها . وقد عرفت هذه الاصطلاحات في الشكل (١١ - ٥) . وعلاقة طول الموجة وفترةها مع السرعة التي تنتقل بها تعطى بالمعادلة : طول الموجة = الفترة $\times$ السرعة .



الشكل (١١ - ٥) : يري خواص الامواج .

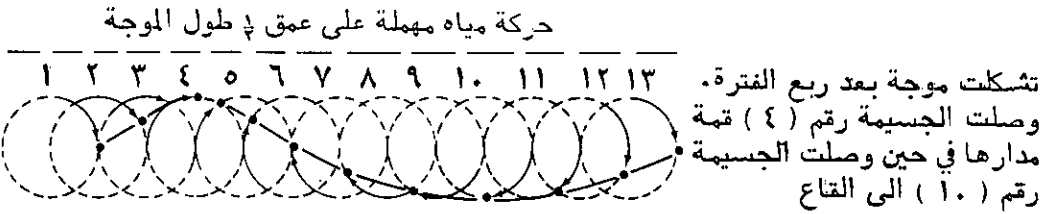
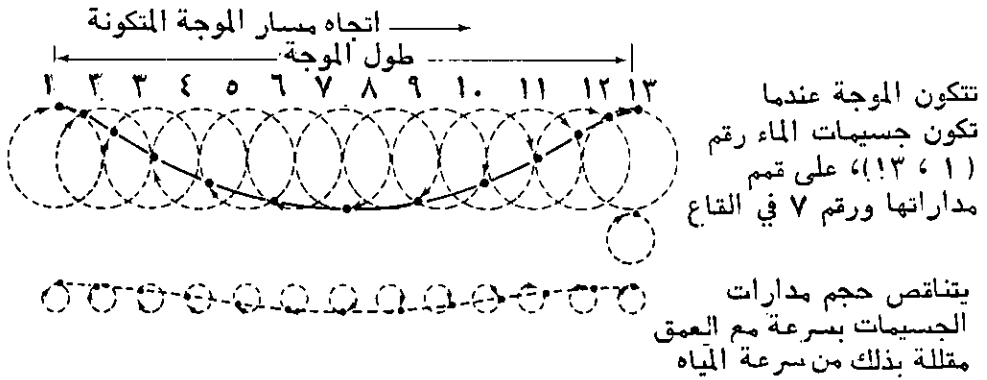
والسرعة ، على كل حال ، تعتمد على طول الموجة ، والامواج الاطول (اي التي لها فترات اطول) تنتقل بسرعات اكبر . وقياس الفترة اسهل كثيرا من قياس طول الموجة ، ومن ثم فان معظم النسب يعبر عنها بدلالة الفترة . وفي المياه العميقة ، تبلغ السرعة في الميل في الساعة حوالي ٣٥ مرة من الفترة مقدرة بالثواني . وارتفاع الموجة يكاد لا يكون له اي تأثير على فترتها او سرعتها .

وتنشأ الامواج ، كالدورة السطحية ، بتأثير الرياح . فيؤدي هبوب الرياح على سطح الماء الى تكون تموجات ، فاذا ما تكونت ، فانها تهبط اسطحا يستطيع الرياح ان يتحرك عليها بفعالية اكثر . ويعتبر تحول التموجات الى امواج عملية معقدة . وتفاوت قوة الرياح يحدث تموجات باحجام واتجاهات مختلفة . وهذا مدعاة لتكون امواج اخرى . ويزيد ارتفاع الموجات الاطول ، اذ تمتص معظم الطاقة في الموجات الاقصر . ويعتمد ارتفاع الامواج الناتجة على قوة الرياح ، ومدى فترة هبوبها ، ومقدار سعة المنطقة التي يهب عليها . وتنشأ معظم الامواج الكبيرة من العواصف ، ولكن ، اذا ما تكونت ، تصبح لها القدرة على الانتقال الى مسافات اكبر دون ان تفقد من طاقتها الا قليلا . وهكذا يمكن ان تنقل الامواج طاقة العاصفة السمي شواطئ بعيدة .

وتقدر فترة الامواج النموذجية في منطقة عاصفة بـ ١٠ ثوان . فاذا ما خرجت الامواج من المنطقة العاصفة ، فان فتراتها (واطوال موجاتها) تزداد . وعلى مسافة بضعة الاف الاميال من منطقة تكونها ، فان فترة الامواج تصبح بين ١٥-٢٠ ثانية ، ويمكن ان تنتقل اسرع من الرياح التي ولدتها .

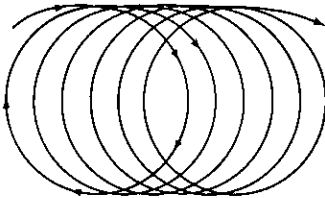
وفي المياه العميقة ، تكون الامواج اشكالا سطحية ، والشكل يتحرك بالرياح الى الامام ، اما الماء فلا يتحرك . فقطرة الماء في اية موجة تتحرك حركة دائرية

ثم تعود الى موضعها الاصلي تقريبا (الشكل (١١ - ٦) . ولذا يتخطى الجسم الطافي الى أعلى وإلى أسفل في المياه العميقة . فالرياح تجرف الماء ببطء السسى الامام ، مكونة الدورة السطحية البطيئة (الشكل (١١ - ٧) ، ولكن في حالة الامواج ، فان الشكل ، وليس الماء، هو الذي يتحرك . وحركته كثيرا ما تشبه حركة موجة تعملها الريح على عشب طويل أو سنابل قمح .

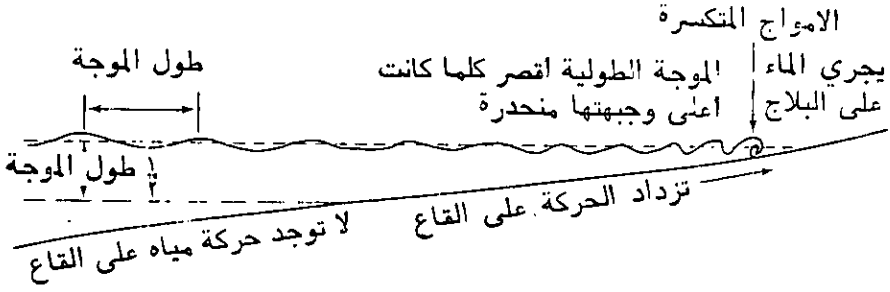


الشكل (١١ - ٦) : تتحرك جسيمات الماء خلال مدار دائري كموجة عابرة . وفي الغالب لا تحدث حركة للمياه على عمق نصف طول الموجة .

اتجاه الريح



فالحركة في المياه الضحلة تختلف كثيرا لان المياه تتحرك مع شكل الموجة (الشكل (١١ - ٨) وما على سطحها يتحرك مع المياه ومع الموج . وهذه المياه المتحركة هي التي تقوم العمل الجيولوجي . وبما أن الامواج تتكون على السطح ، فان طاقتها تقل باتجاه الاسفل . فعلى عمق نصف طول موجة المياه العميقة ،



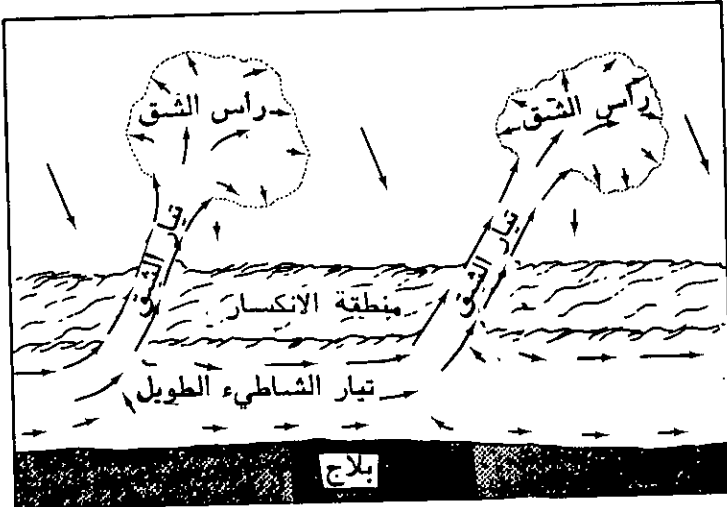
الشكل (١١ - ٨) : يبين التغيرات التي تحدث عندما تتحرك موجة ما على السطحية.

تكون حركة المياه لا تذكر . وعلى هذا العمق ، فان الموجة لا تتأثر بالعمق . فاذا انتقلت موجة ما الى ماء اقل عمقا ، فانها تتأثر بالقاع وتتغير . فتتغير ببطء ، لان بعضا من طاقتها يستخدم في تحريك حبيبات صغيرة ذهابا وايابا على القاع . ويزداد ارتفاع الموجة كلما صار الماء اقل عمقا ، وعلى الشاطئ المنحدر ، فان مقدمة الموجة تكون ابطأ من مؤخرتها وتؤدي هذه التأثيرات ، الى انكسار الامواج ، وتكوين الارتطام . وفي منطقة الارتطام ، تتحرك الامواج المتكسرة على الشاطئ الى أعلى وتكون عوامل نشطة للتجوية والنقل (الشكل ١١-٩) ويخلق عودتها الى المحيط الانجراف القاعي الذي يخافه العديد من السباحين . وعلى جانب اليابسة الذي تنكسر عليه الامواج، تتحرك المياه السطحية على الشاطئ وتتحرك مياه القاع نحو الخارج ، مسببة بذلك ازعاجا للسباحين . وتتركز المياه المترجعة في بعض الاوقات في أماكن قليلة ، مكونة ما يسمى بالشقوق أو تيارات الشقوق (١) (الشكل (١١ - ١٠)) .

فاذن يتركز ، نحت الامواج في المياه الضحلة . وتنكسر الامواج عموما على اعماق تتراوح بين ما يعادل ارتفاع الموجة او نصف ارتفاعها . وتندثر الامواج التي يزيد ارتفاعها على (٢٠) قدما ، الا انه قد سجلت امواج وصل ارتفاعها الى (١٠٠) قدم . فعلى اعماق تقل عن (٣٠) قدما ، تبذل معظم طاقة الامواج، ويتم معظم الفعل الجيولوجي والارتطام . ونظرا لان الامواج تبدأ عملها اولا على القاع على حوالي ١/٤ طول موجاتها ، فان بعض النحت الموجي يمكن أن يحدث على عمق قد يصل الى (١٠٠٠) قدم . والامواج التي فترتها (١٠) ثوان لها مساهمة اطوال تصل الى حوالي (٥٠٠) قدم ، والتي فترتها (٢٠) ثانية تصل أطوالها موجاتها الى حوالي (٢٠٠٠) قدم .



الشكل (١١ - ٩) : صورة جوية ترى انكسار الامواج ومنطقة المسرف .
(الصورة من : California Division of Beaches and Parks)



الشكل (١١ - ١٠) : تتكون تيارات الشقوق بمودة المياه المتحركة باتجاه الشاطئ
بفعل الامواج اما موقع تيارات الشقوق فمختلف . وهي تسبب خوفا وازعاجا للسباحين .

والتأثير الآخر للمياه الضحلة على الأمواج هو أنها تسبب انحناءها ، أو انكسارها . تنخفض سرعة الموجة عندما تمس القاع . فإذا لم تمس أجزاء من الموجة القاع ، فإن سرعتها لا تنخفض . وفي هذه الحالة ، ونظراً لأن الأجزاء المختلفة من الموجة تنتقل بسرعات مختلفة فإن الموجة تنحني أو تنكسر . ويتسبب الانكسار في تركيز الموج على اليابسة ، كما هو موضح في الشكل (١١-١١) .



الشكل (١١ - ١١) : موجة منكسرة على طول ساحل كاليفورنيا . لاحظ التغيرات في طول الموجة التي تحدث في الخليج على الجانب الأيمن (الصورة من دائرة الزرعة في الولايات المتحدة) .

الحت بالامواج

Wave erosion

يعتمد الحت بالامواج اساسا على الفعل الهيدروليكي والبري (ه) والى مدى قليل جدا بالتحليل .
فالفعل الهيدروليكي هو الصدم والضغط المتولد عن الامواج . فالامواج العاصفة ، بالذات ، قادرة على تحريك كتل ضخمة من صخر المجرى . وتستطيع الامواج المتكسرة ان تولد ضغطا عظيما في الشقوق اما بقوة الماء وحدها او بضغط الهواء فيها . فقد نقل كسر مائي يزن ٢٦٠٠ طنا بهذه الطريقة . وتكسرت شبابيك منارات تعلو مئات الاقدام عن سطح البحر بالصخور التي قذفتها الامواج العاصفة . ويمكن تشبيه اثر الامواج العاصفة التي تنقل قطعاً كبيرة بفيضانات الانهر ، التي فيها تنقل اكبر القطع . وكثيرا ما تنشر الجرائد اليومية صورا لقوارب كبيرة او صغيرة طرحت مسافات بعيدة على اليابسة بهذه الطريقة . وكثيرا ما تصنع الامواج المتكسرة على خط الساحل تلالا من القطع التي تنحتها من صخور القاع . (الشكل (١١-١٢)) .

اما البري فهو الطحن الذي تتعرض له المواد المنقولة بالامواج . وهو فعال بصورة خاصة في منطقة الارتطام ، ولكن يمكن ان يحدث ، ولو الى مدى صغیر جدا ، في المنطقة كلها حيث تمس الامواج القاع وحيث ان بعضا من طاقتها تنبدد



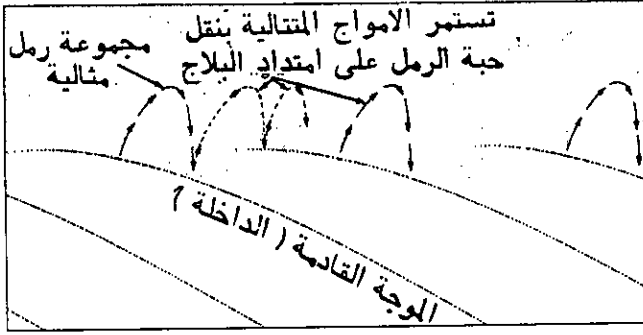
الشكل (١١ - ١٢) : مصطبة مقطوعة بالسرف Surf وجرفه مقطوع في اسفله .

عليه . ويعمل هذا الفعل على جعل الحصى مستديرة صغيرة الحجم . فتدفع
الامواج المتقدمة على الشاطئء بالحصى وحبيبات الرمل الى الاعلى ثم تتراجع بها
متقهقرة الى البحر . فعملية التدحرج والخض هذه تشبه فعل الانهار بحمولتها .
ففي منطقة السيرف يقطع البري سطحا املسا على عمق ٣٠ قدما او اقسل .
ويسمى هذا السطح بالشرفة التي شكلها السيرف (٦) (الشكل (١١ — ١٢)) .
ويمكن أن يؤدي وجود مثل هذه الشرفات الى تكسير الامواج بعيدا عن الشاطئء
ومن ثم يحد من تأثير الامواج على الشاطئء الحقيقي .

النقل بالامواج

Wave transportation

ان انتقال الرواسب بالامواج عملية انتقائية ، تصنف الرواسب حسب الحجم ،
خاصة بمنطقة السيرف القريبة من الشاطئء . ولا نجد في هذه المنطقة سوى
الرمل والمواد الخشنة ، وحركتها في معظمها على طول الشاطئء . فنتقدم الامواج
على البلاج (٧) في هذا النطاق الفعال ، محملة بالرمل والمواد الخشنة ، مما يطلق
بها وما تنحته من القاع . فانحدار هذه المنطقة يجعل الموجة في تراجعها ،
مدفوعة بالجاذبية ، تحمل هذه المواد معها ، بالرغم من أنها تفقد بعضا من مائها
اذ يتخلل داخل البلاج . وتحمل الموجة المتراجعة ايضا اية مواد دقيقة الى مياه
اعمق بتأثير التيارات السفلية . وهكذا فان الرمل والمواد الخشنة ، تتحرك ذهابا
وايابا في هذا النطاق . وتتحرك هذه المادة موازية للبلاج لان انكسار الامواج
يجعلها عموما تتحرك وتنحرف قطريا باتجاه الشاطئء . والامواج المتحركة على
الشاطئء تحمل الرمل للامام بهذا الاتجاه القطري . اما المياه المتراجعة فانها
تنقل الرمل متقهقرا الى اسفل المنحدر تحت تأثير الجاذبية . وهكذا ، فان الرمل
يحمل في كل حركة ذهاب واياب بعيدا الى اسفل البلاج (الشكل (١١ — ١٣))
لقد قدر مدى هذا النقل على طول الشاطئء لحبيبات الرمل الظاهرة للعيان ، فبلغ
في بعض الاماكن بضعة الاف من الاطنان (وزن جاف) يوميا تحت الظروف



الشكل (١١ - ١٣) : حركة الرمل على طول البلاج . الامواج المتقدمة لا توازي خط الشاطئ، وتتحرك حبيبات الرمل عامودية على الموجة وينساب الماء عاموديا على الشاطئ، وعندما تتراجع الموجة . وهكذا تنقل كل موجة المواد المفتنة قليلا على طول الشاطئ .

العادية ، وتزيد هذه الكمية عدة مرات في ازمئة العواصف . وهناك طريقة أخرى لقياس هذه الحركة كالحواجز التي تبني في بعض الاحيان لحماية البلاجيات أو لتهيئة موانئ لاستقبال القوارب الصغيرة ، كما يبينه الشكل (١١ - ١٤) . وفي النطاق الذي تهبط الامواج فيه القاع ، فان الرمل يتحرك باتجاه الشاطئ عندما يضطرب القاع بالامواج المتحركة باتجاه الشاطئ . وتفيض المياه العائدة بعيدا عن الشاطئ فالمواد الخشنة تنتقل في هذا النطاق باتجاه الشاطئ والمواد الادق قد تتحرك بعيدا عنه (الاشكال (١١ - ١٤) ، (١١ - ١٥))



الشكل (١١ - ١٤) : اثر الحواجز المائلة على حركة الرمل في شاطئ البلاج المطويل .

منطقة السرف
يتحرك الرمل
أساسا على
طول الشاطئ ،
في حين تتحرك
المواد العالقة
بعمدا

حاجز على طول الشاطئ .
يتحرك الرمل باتجاه الشاطئ .
تتحرك المواد الدقيقة
العالقة بعيدا

تتحرك مواد القاع بعيدا
تحت تأثير الجاذبية

الموجة
طول الموجة

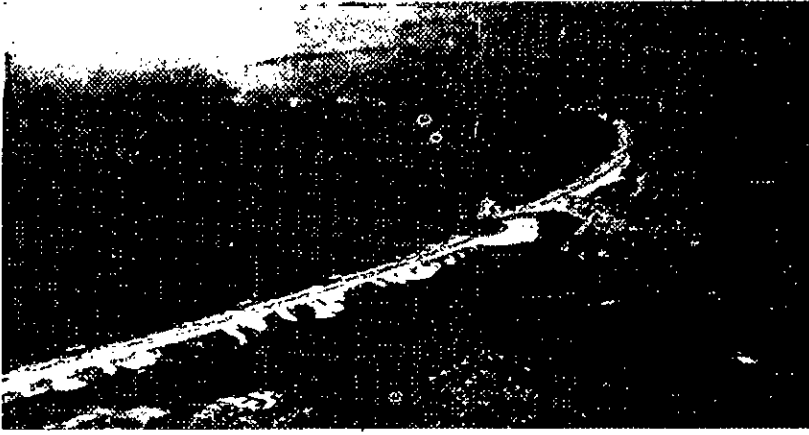
الشكل (١١ - ١٥) : النقل في منطقة الشاطئ القريب .

اما في المياه العميقة ، فان الامواج الطويلة تزعزع فقط مواد القاع ، وتكون الحركة متماثلة ذهابا وايابا كلما مرت الموجة . وينحدر القاع عموما باتجاه البحر فيمكن أن يساعد الجذب في تحريك بعض الرواسب المضطربة في هذا الاتجاه . وتفقد البلاجات رملا اثناء العواصف . وهذا ما يحدث نموذجيا في اثناء فصول الشتاء . ثم يعود الرمل حالما تعود الامواج الى طبيعتها مرة أخرى . وتنقل الامواج العالية الهوجاء بعضا من هذا الرمل من بعض الشواطئ باتجاه اليابسة الى ما بعد البلاج . وعموما ، فان الامواج الهوجاء تسحب رملا عن البلاج وترسبه على هيئة حاجز على حافة نطاق السرف ، ربما لان قمم الامواج الهوجاء المتقاربة والمرتفعة تحتاج الى منحدر اقل غورا حتى تحتفظ بالمنحدر المتزن الذي ينتقل عليه الرمل ذهابا وايابا (الشكل (١١ - ١٥)) . وفي بعض الشواطئ يحمل بعضا من الرمل الى مياه اعمق ، ويستمر في التحرك باتجاه البحر هابطا منحدر الرف القليل الميل ، وتلزم دراسات أكثر لمعرفة كمية المادة المتبقية على خط الشاطئ مما تفتته الامواج ومقدار المحمول منها الى الرفوف القارية .

الترسيب بالامواج

Wave deposition

هنالك نوعان أساسيان من رواسب الامواج : رواسب البلاجات والحواجز الرملية ، ما كان منها بعيدا عن الشاطئ وما كان ملتصقا به . والبلاجات (اي السواحل الرملية) اكثر مظاهر رواسب الامواج شيوعا . تأتي معظم المسادة المكونة للبلاج من التجوية الموجية ، الا أن بعضا منها يمكن أن يأتي من عوامل تجوية أخرى كالانهار مثلا . ويتحكم حجم الرواسب عموما في انحدار البلاج ، فتكون البلاجات الحصوية أكثر انحدارا من البلاجات الرملية . وكما لوحظ سابقا، فان البلاجات تكون في اتران دقيق وتتغير بعنف عندما تتغير ظروف الامواج أو التيارات . وتتوضع الرواسب المحمولة على طول الشاطئ على هيئة حواجز رملية أو حصوية على اليابسة وعبر الخلجان كما هو مبين في الشكل (١١ - ١٦) . وهذه الحواجز البعيدة عن الشاطئ مهمة في تطوير خطوط الشواطئ .



الشكل (١١ - ١٦) : صورة جوية مأثلة لخليج مورو بكاليفورنيا ، وتري الصورة
حاجزا رمليا مكتنفا بالخليج .
(الصورة ممن California Division of Beaches and Parks .)

خطوط الشواطىء وتطورها

Development of shorelines

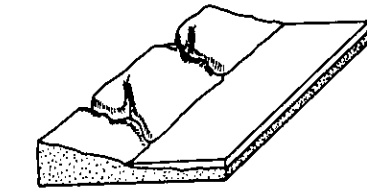
ان مهم تكون خطوط الشواطىء يشبه كثيرا فهم تطور الحت في الانهار أو المناطق الارضية ، بمعنى انهما يبنيان على مبادئ استنتاجية . ان التنوع العظيم في خطوط الشواطىء في الايام الحالية يوحى بأن السواحل مناطق معقدة ، ومن ثم فلا بد من اعتبار عدة عوامل . ولكننا سندرس هنا بعضا من الحالات المفهومة جيدا . وأي خط شاطئ يجب دراسته على حدة ، اخذين بالاعتبار عوامل تنوع الصخر ، وبنية الصخر ، وحجم الامواج ، واتجاه الامواج ، وعدد العواصف ، ومدى المد والجزر ، والمقطع تحت السطحي (٨) . ان خطوط السواحل ، كمعظم الاجزاء الاخرى من القشرة الارضية ، دائمة التغير ، ويعتمد نوع التغير جزئيا على التغيرات للحديثة التي سبقتة . وكما هي الحال في الانهار ، فان التغيرات الكبرى تنجم غالبا من للتغيرات في الارتفاع .

وهناك نوعان محتملان من التغيرات في مستوى سطح البحر . فقد يرتفع

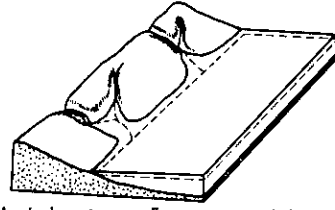
أو يهبط مستوى سطح الماء نفسه ، أو قد ترتفع اليابسة أو تنخفض . وربما يتغير مستوى سطح البحر كنتيجة لنهوض أو انخفاض أحواض المحيطات . وسنقدم أدلة على حصول تغيرات كهذه في الجزء الثالث . وهناك طريقة أخرى لتغير مستوى سطح البحر تعزى إلى ذوبان الجبال الجليدية (٩) . وقد حدث هذا في الماضي القريب ، وأنه من الصعب جدا فصل التغيرات الناشئة مسن انحسار البحر وعودته عن عمليات خطوط الشواطئ العادية . وارتفاعات القارات وانخفاضاتها هي أيضا شائعة (١٠) وسوف تدرس في الجزء الثالث أيضا . ولكن التغيرات في مستوى سطح البحر من جراء هذا السبب الثاني تكون محلية محدودة ، ولكن لا يمكن تمييزها دائما عن هبوط المحيط نفسه أو ارتفاعه . والعديد من خطوط السواحل تظهر فيها أدلة على تكرار التغيرات النسبية في اليابسة والماء . ولقد أدى ذوبان الجبهة الجليدية الأخيرة ارتفاعا في مستوى سطح البحر ، ولكن هنالك شواطئ كثيرة لا يظهر عليها أثر ذلك .

لم يبتكر حتى الآن تصنيف مناسب لخطوط السواحل بسبب الصعوبة في معرفة الاحتمالات العديدة . ويمكن بحث بعض الاحتمالات ، إلا أنه يصعب إيجاد أمثلة عليها . ومن أسباب ذلك أن معظم الشواطئ غير مستقرة والعلاقة مابين اليابسة والبحر دائمة التغير ، مما يجعل التصنيف صعبا . فقد تصنف الشواطئ من حيث كونها بارزة أو مغورة ، ولكن الشاطئ يصبح مغورا إذا هبطت اليابسة أو ارتفع المحيط . ويكون لخط الساحل المغور خلجان عميقة ومصببات تنشأ من ملء الأودية الساحلية ببياء البحر (الشكل (١١ — ١٧)) . وهذه ، طبعا ، ليست هي الطريقة الوحيدة التي يمكن أن يتطور بها ساحل كهذا . وهناك من هذا النوع شواطئ قليلة ، رغم أن ذوبان الانهار الجليدية حديثا كان يجب أن يؤدي إلى انغمار جميع السواحل تقريبا .

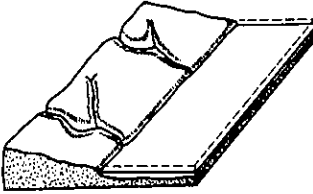
ومن السهل معرفة بعض أنواع خطوط السواحل البارزة . فارتفاع اليابسة أو هبوط مستوى سطح الماء يجعل البلاجات والشرفات التي شكلها السرف فوق مستوى سطح البحر . وفي بعض الحالات ، يمكن مشاهدة عدة شرفات فوق البلاجات . وهذا شائع في أماكن عديدة على طول ساحل كاليفورنيا بفعل التصدع والارتفاع الحديثين (الأشكال (١١ — ١٧) ، (١١ — ١٨) ، (١١ — ١٩) .



١ — خط ساحل طبيعي



ب — شواطئ مغمورة . يمكن لفصل
الأمواج أن يشكل جروفا على الرؤوس
الأرضية ، بينما المواد المجروفة يمكن
أن تشكل حواجزا على طول الشاطئ



ج — ساحل غير مغمور



د — مقطع لخط ساحلي رفع (أو أن
يكون سطح البحر انخفض) عدة
مرات ، منتجا شرفات وجروفا

الشكل (١١ - ١٧) : انواع خطوط الشواطئ المحتملة :

١ — خط ساحل طبيعي

ب — نفس خط الساحل بعد هبوط اليابسة أو بعد ارتفاع منسوب سطح البحر . لاحظ انهماء
أودية الأنهر التي أدت الى تكوين خلجان ومصبات نهري . تعتبر خطوط الشواطئ غير
المنتظمة هذه نمطا للشواطئ المغمورة .

ج — نفس خط الساحل بعد ارتفاع اليابسة أو بعد هبوط مستوى سطح البحر . لاحظ الجرف
الموجي المقطوع الذي نتج من جراء تكسر الأمواج على اليابسة الحديثة التكتشف . تكون
مساقيط نهري عند التقائها بالمحيط .

د — رسم تخطيطي لخط الساحل الذي ارتفع بعد عدة مراحل مشابهها في ذلك خط الشاطئ
في النموذج (ج) . يعزى ارتفاع منسوب سطح ماء البحر الحديث الى ذوبان الرواسب
الثلجية التي أدت الى انهماء معظم خطوط السواحل ، حيث أن هناك أمثلة متشابهة
لنموذج (د) على الساحل الغربي للولايات المتحدة .

ويظهر في بعض الأماكن اعوجاج في الشرفات المقطوعة بسبب الاختلاف في مقدار
الارتفاع .

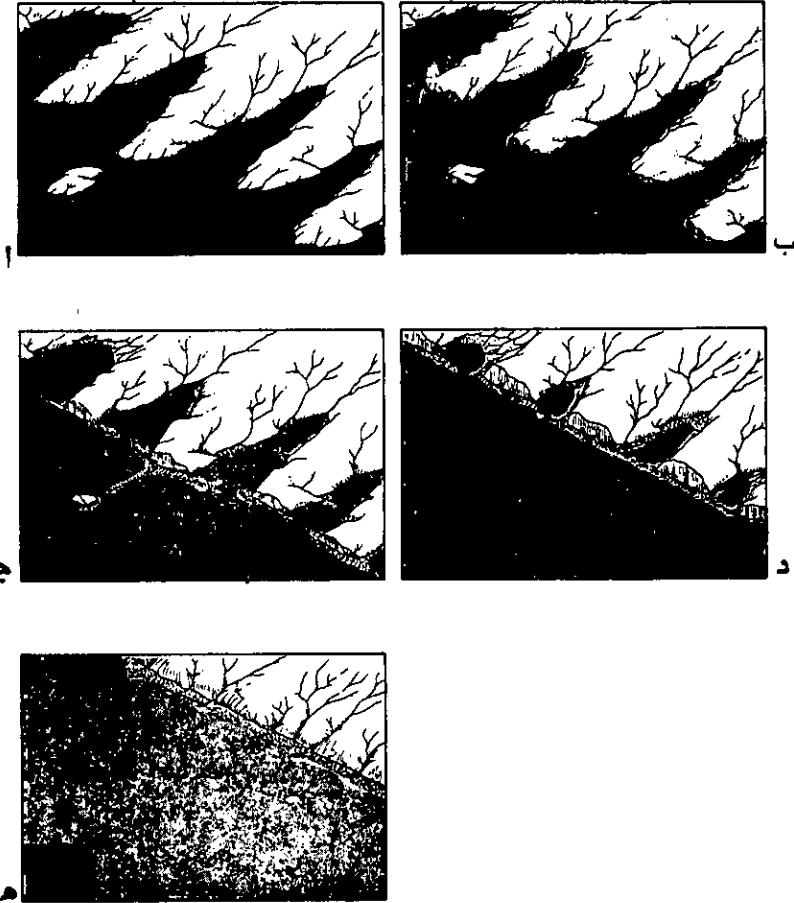
وفي حالة الاستقرار ، يصبح من الممكن وصف تطور بعض انواع خطوط
الشواطئ . فكثيرا ما يتعدل بفعل الأمواج خط الساحل اذا كان غير منتظم
وذا رؤوس أرضية وخلجان . فاذا ما تركزت التجوية الموجية الناشئة عن انكسار
الأمواج على الرؤوس الأرضية (الشكل (١١ - ٢٠)) ، فانها تكون شرفة
مقطوعة ومرتفعات شاطئية . وتحمل الأمواج بعضا من المادة الجواء السى
الخلجان ، وهذه ، مع مادة النهر الجواء تحاول أن تملأ الخلجان . وينشأ ايضا
عدة أنواع من الحواجز الرملية عبر الخلجان . ثم ينشأ في النهاية ساحل مصقول



الشكل (١١ - ١٨) : بين جروفا بحرية يجري تفثيتها بالامواج وشرفات مرتفعة يقطعها السيف مع خط الافق .



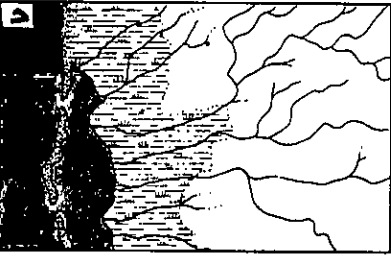
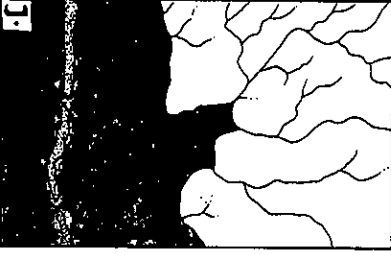
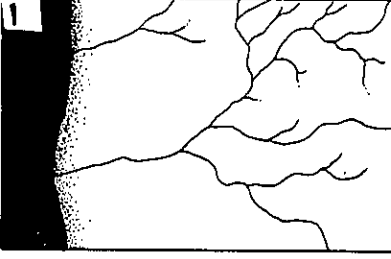
الشكل (١١ - ١٩) : بلاجات مقطوعة بالموج تري المستويات العديدة السابقة في بحيرة الدب الكبير الواقعة في شمال غرب حدود كندا . يظهر في صدر الصورة الى اليمين جليدا متعدد الاسطح وانزلاقا أرضيا قديما .
Canadian Government
(الصورة من دائرة الطاقة ، المعادن والموارد ، في أونتاريو ، Copyright (A4116.37))



الشكل (١١ - ٢٠) : كيفية تطور خط ساحل كان غير منظم في البداية .

ويميل خط الساحل الذي من هذا النوع الى التراجع باتجاه اليابسة .
 ويكون خط الساحل الضحل المصقول على الغالب حاجزاً بعيداً عن الشاطئ
 يمكن ان ينمو ليصبح جزيرة حاجزة (١١) خلفها بحيرة ضحلة (١٢) . وقد يمتلئ
 اللاغون جزئياً أو كلياً برواسب نهريّة . ويمثل ساحل خليج تكساس هذا النوع
 من السواحل (الشكل (١١ - ٢١)) . ولكن خطوط سواحل مبانة في أماكن
 أخرى ، قد لا تبني بملء المنطقة التي خلف الحاجز البعيد . ومن المحتمل ان يبقى
 الحاجز مغموراً في أماكن كهذه ، ربما لعدم كفاية الرواسب التي تصل الى الشاطئ
 من اليابسة . فساحل الخليج منطقة يأتيا رواسب كثيرة من اليابسة السمي

الشكل (١١ - ٢١) : يبين تطور خط
ساحل منتظم ومتدرج الانحدار .



البحر . ويمكن اعتبار ساحل الاطلسي في الولايات المتحدة مثلا للحالة الثانية ،
حيث أنه حاجز مغمور جزئيا يمتد موازيا لمعظم الساحل .

أسئلة

- ١١ — ١ ما هي مسببات الدورة السطحية للمحيطات ؟
- ١١ — ٢ سر لماذا يحدث المد في طرفين متقابلين من الكرة الأرضية في وقت واحد ؟
- ١١ — ٣ ما هي العلاقات بين طول الموجة ، وفترتها والسرعة لأمواج المياه ؟
- ١١ — ٤ صف دورة الموج في المياه العميقة والضحلة .
- ١١ — ٥ صف عمليات ونتائج التجوية الموجية .
- ١١ — ٦ ابحث نقل الرمل والمادة الدقيقة بالأمواج .
- ١١ — ٧ هل تعني الجروف البحرية دائما ارتفاع اليابسة (أو هبوط مستوى سطح البحر) ؟
- ١١ — ٨ كيف يمكن أن نميز بين ارتفاع القارة وانخفاض مستوى سطح البحر ؟
- ١١ — ٩ ابحث فيما إذا كان مستوى سطح البحر انما تقاس بالنسبة اليـسـمـه للحركة المطلقة للقارات .

مراجع إضافية

- Bascom, Willard, "Ocean Waves," *Scientific American* (August, 1959), Vol. 201, No. 2, pp. 74-84. Reprint 828, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Bascom, Willard, "Beaches," *Scientific American* (August, 1960), Vol. 203, No. 2, pp. 80-94.
- Bascom, Willard, *Waves and Beaches*. Garden City, N. Y.: Doubleday and Co., Inc., 1964, 267 pp. (paperback).
- Carson, Rachel, *The Sea Around Us*, revised edition. New York: Oxford University Press, 1961, 230 pp. (also available in paperback).
- Gross, M. G., *Oceanography*, 3rd ed. Columbus, Ohio: Charles E. Merrill Publishing Co., Inc., 1976, 138 pp. (paperback).
- Higgins, C. G., "Causes of Relative Sea-level Changes," *American Scientist* (December, 1965), Vol. 53, No. 4, pp. 464-476.
- Hoyt, J. H., "Field Guide to Beaches," *ESCP Pamphlet Series, PS-7*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1971, 45 pp.
- Hoyt, J. H., "Shoreline Processes," *Journal of Geological Education* (January, 1972), Vol. 20, No. 1, pp. 16-22.
- Inman, D. L., and B. M. Brush, "The Coastal Challenge," *Science* (July 6, 1973), Vol. 180, No. 4094, pp. 20-32.
- King, C. A. M., *Beaches and Coasts*. London: Edward Arnold, 1959, 403 pp.
- Kort, V. G., "The Antarctic Ocean," *Scientific American* (September, 1962), Vol. 207, No. 3, pp. 113-128. Reprint 860, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Munk, Walter, "The Circulation of the Oceans," *Scientific American* (September, 1955), Vol. 193, No. 3, pp. 96-104. Reprint 813, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Schubel, J. R., and D. W. Pritchard, "The Estuarine Environment," *Journal of Geological Education*, Part I (March, 1972), Vol. 20, No. 2, pp. 60-68. Part II (September, 1972), Vol. 20, No. 4, pp. 179-188.

الفصل الثاني عشر المياه الجوفية وموارد المياه

Ground Water and Water Resources

المياه الجوفية
حركة المياه الجوفية
الآثار الجيولوجية للمياه الجوفية
الينابيع الحارة والفتارات الساخنة
البترو
الموارد المائية
التوزيع الطبيعي للمياه
استعمال واستهلاك المياه
الاحتياجات المائية في الحاضر والمستقبل.

اسئلة
مراجع اضافية

صورة جوية عامودية لمنطقة فيها (sinkholes) بالقرب من
Park City, Kentucky. المساحة الجيولوجية الامريكية .

۱۲



المياه الجوفية

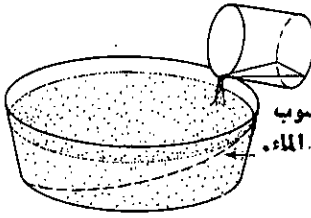
Ground water

لم يتبين أن أصل مياه الانهار هو ماء المطر إلا في أواخر القرن السابع عشر، ولكن عندما جرت القياسات اكتشفت أن جزءاً من مياه المطر الذي يقع على أحواض الانهار يجري في مجاريها ، أما الباقي فلا يصعب تخيل مصيره : فبعضه يتبخر وبعضه يمتصه النبات وبعض يغور في الأرض ، وهذا هو أصل المياه الجوفية . وتعتبر المياه الجوفية جزءاً هاماً جداً من الموارد المائية لمناطق كثيرة . بيد أن الدراسة العلمية للمياه الجوفية لم تبدأ جدياً في أمريكا إلا بعد عام ١٨٧٥ . ولقد تلقت الموارد المائية اهتماماً زائداً منذ الحرب العالمية الثانية ، حيث درست بشفافية جميع مظاهرها بما في ذلك المياه الجوفية . إن للدراسات المائية مظاهر قانونية واجتماعية واقتصادية هامة بالإضافة إلى النواحي العلمية التي ندرسها هنا .

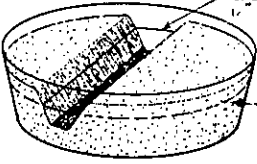
Movement of Ground Water

حركة المياه الجوفية

يعرف السطح الذي تكون الصخور تحته مشبعة بالمياه بمنسوب المياه الجوفية (١) (الشكل (١٢-١)) . يحتجز جزء من المياه فوق منسوب المياه الجوفي بواسطة التوتر السطحي (٢) (الشكل (١٢-٢)) . وبشكل عام فإن منسوب المياه الجوفية ليس إلا انعكاساً للتضاريس السطحية ، إلا أنه لا يخضع

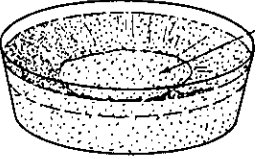


أ - ارتفاع منسوب سطح الماء كلما زيد الماء.



ب - قناة نهرية صناعية

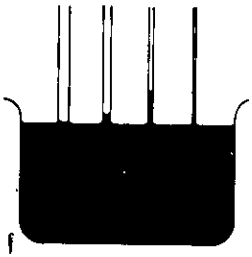
سطح الماء بعد حركته داخل النهر .



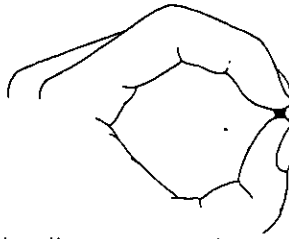
ج - بركة اصطناعية .

الشكل (١٢ - ١) : يوضح دورة المياه

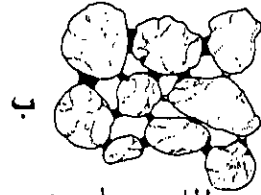
الجوفية . ملئ وعاء بالرمل وصب فيه الماء ليتخلل حببيات الرمل ويملا فراغاتها . ان اي ثقب في الرمل يمثل بئرا ، واي شق يمثل قناة نهرية . يستحسن اجراء مثل هذه التجربة في وعاء زجاجي على ان يلون الماء بقليل من الحبر .



أ



الماء محمول بين الايهام والسبابة



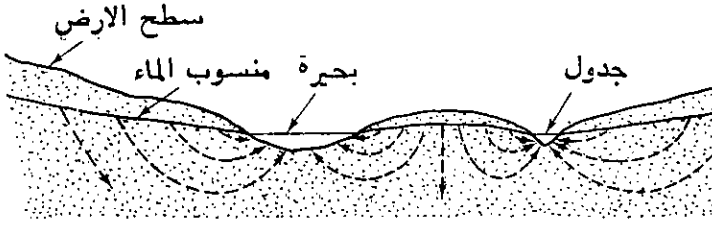
ب

الماء محمول بين حببيات الرمال

الشكل (١٢ - ٢) : تنشأ الخاصية الشعرية من التوتر السطحي للماء والذي يعمل

على رفعه الى فوق مستوى سطحه . (أ) - يرتفع الماء في الانبوب الدقيق فوق مستوى سطحه . (ب) - تحل الانابيب المتقاربة محل الفراغات الصخرية في جوف الارض . يبدو ان منسوب سطح الماء العلوي عبارة عن نطاق رقيق اكثر من كونه خطا حادا . ويتضح كذلك كيفية احتفاظ التربة برطوبتها بصورة عامة .

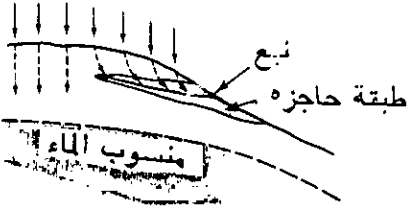
تماما لهذه التضاريس ، فهو اقل وضوحا منها (الشكل (١٢ - ٣)) . وتمثل البحيرات والمستنقعات مساحات ارضية سطحية اما فوق منسوب المياه الجوفية او تحته . وتتدفق مياه الينابيع اينما كان مستوى سطح الماء مكثوفا كما هو الحال في جوانب الاودية . ويتغير هذا المنسوب وفق تغير الفصول وهذا يفسر سبب جفاف بعض الينابيع صيفا . وقد تتكون الينابيع عندما يحجز منسوب المياه الجوفية . وتفسر مثل هذه الحالة عندما تحجز مياه الامطار المتخللة (٢) الى اسفل



الشكل (١٢ - ٣) : يبين كيف أن مستوى سطح الماء أقل وضوحاً من التضاريس ،
وتبين الأسهم حركة المياه الجوفية .

بصخر غير منفذ نسبياً كالغضار . وتتدفق ينابيع هذا الطراز في الفصول الرطبة
(الشكل (١٢ - ٤)) .

وتتحكم الخواص الفيزيائية للصخور في حركة المياه الجوفية . وتقدر كمية
الماء المخزونة في الصخور بكمية الفراغات الصخرية . وبالتالي يحدد تواجد المياه



الشكل (١٢ - ٤) : عبارة عن ينبوع
نشأ من تداخل طبقة غضار غير منفذة عبر الماء
المتخلل . وتتمثل مثل هذه الينابيع لأن تجف
في فصل الصيف .

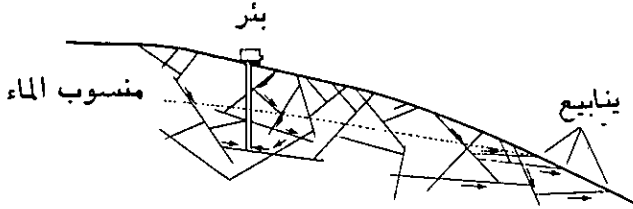
بالتراكم بين الفراغات وهذا ما يعرف بالنفاذية (٤) الشكل (الشكل (١٢ - ٥)) . وأكثر
الصخور الخازنة شيوعاً هي الصخور الرملية بالرغم من أن صخور الجرانيت



ب - حجر رملي ضعيف التصنيف ذو مسامية ١ - حجر رملي جيد التصنيف يحتوي على كمية
كافية من الفراغات التي ترفع نسبة
النفاذية والمسامية .

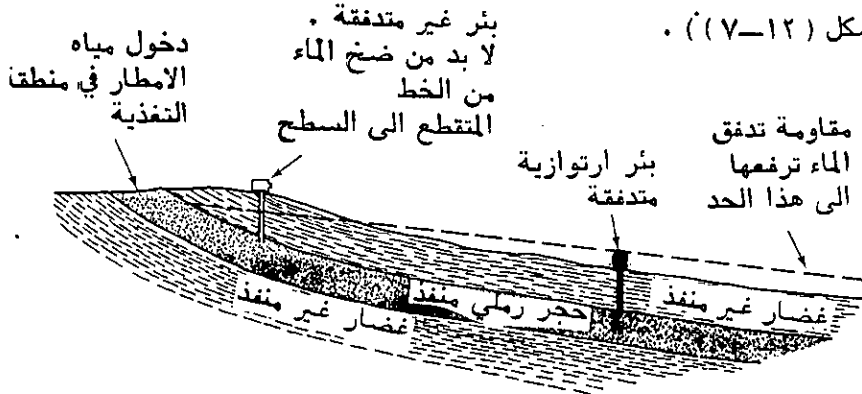
الشكل (١٢ - ٥) : يبين أثر تصنيف حبيبات الرمل على المسامية والنفاذية .

والحجر الجيري المشققة (٥) بالإضافة الى أنواع صخور أخرى يمكن أن تقوم بعمل مماثل (الشكل ١٢ - ٦) .



الشكل (١٢-٦) : يمكن تواجد الينابيع ، الابار في صخور جرانيتية مشققة .

وتعتبر الابار الارتوازية (٦) من اهم انواع الابار . ويكون الخزان في البئر الارتوازية عادة محصورا من أعلى ومن أسفل بصخور غير منفذة . ويفذى الخزان الصخري في المكان الذي يتكشف فيه ، حيث ترغم المياه بالتحرك خلاله . ويمكن للبئر المحفورة في خزان ارتوازي أن تتدفق بدون ضخ لان الماء المتدفق يسمى للوصول الى مستوى مصدر التغذية (٧) . وعلى كل حال ، فان مقاومة جريان المياه عبر الخزان تمنع المياه من التدفق الى نفس ارتفاع منطقة التغذية ، وبناء عليه فان الابار المتدفقة يجب أن تكون أقل ارتفاعا من منطقة التغذية (الشكل (١٢-٧)) .



الشكل (١٢-٧) : تتدفق المياه الارتوازية عندما تنحصر المياه الجوفية بين طبقتين غير منفذتين .

ان المياه الجوفية سلعة ذات قيمة اقتصادية عظيمة وتستخرج من جوف الارض للاعمال المنزلية والصناعية والزراعية (الشكل (١٢ - ٨)) . فلا بد للمناطق التي تعتمد الى حد كبير على استعمال المياه الجوفية من أن توازن بين

مجري المياه التي يعوض فيها نقص المياه الجوفية من الجداول الدائمة الجريان

وديان مغطونة ليست مشغولة الآن

بجداول دائمة الجريان

صخور خازنة محكمة وشبه محكمة

صخور خزانات محكمة

صخور خازنة متماسكة وغير متماسكة

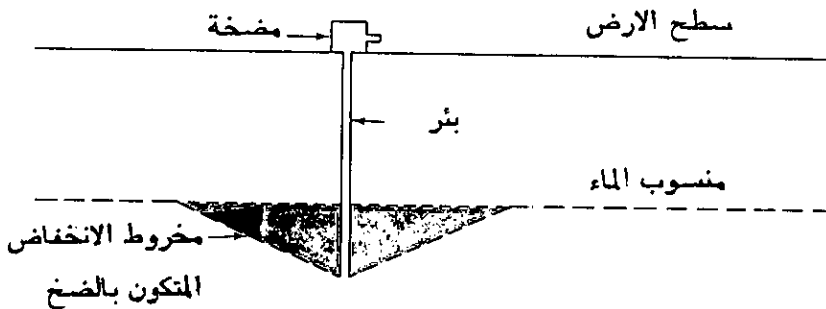
مناطق لم يعرف وجود صخور خزانية تحتها
وتقدر حوالي ٥٠ جالون مساء / دقيقة من الإبار

الشكل (٨ - ١٢) : يبين مناطق المياه الجوفية في الولايات المتحدة ، حيث توضح الأنظمة المناطقي التي تقع تحتها خزانات صخرية قادرة على إنتاج (٥٠) جالون ماء في الدقيقة من بئر واحدة وتحتوي على أقل من ٢/١ من المواد الذائبة (تضم مناطق تستخدم فيها المياه المعدنية) .
(الصورة من مديرية الزراعة في الولايات المتحدة عن كتاب المياه السنوي لعام ١٩٥٥) .

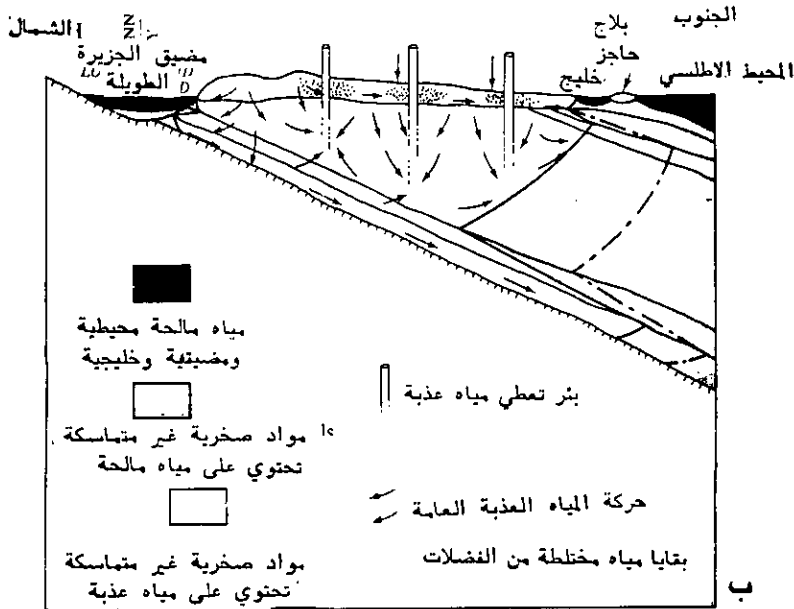
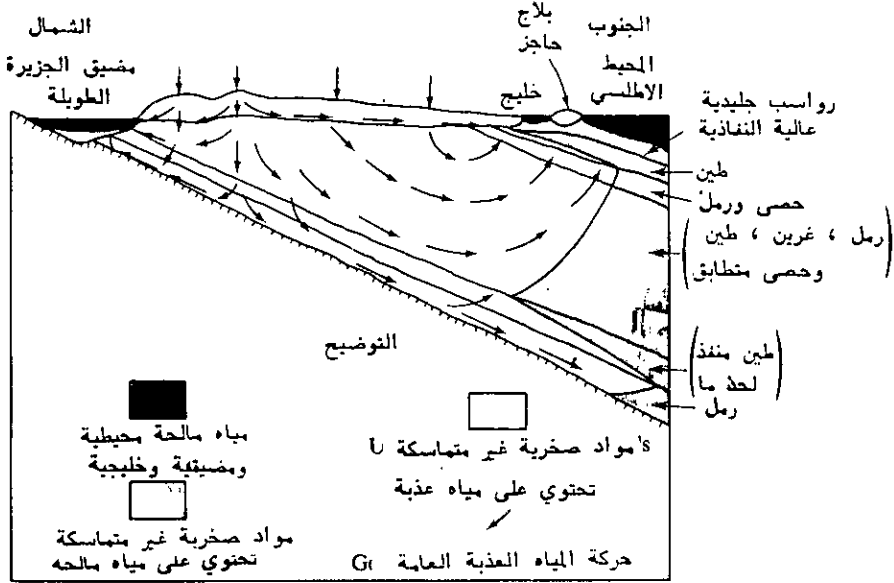


ما يستخرج منها في السنة وما تستعيده الصخور بالعمليات الطبيعية أو بالتخزين الصناعي (٨) . ويمكن تحديد ذلك بملاحظة عدم انخفاض مستوى المياه . فالتحفظ باستعمال المياه الجوفية ، ضروري جدا لانها تتحرك ببطء شديد، وتحتاج لسنوات عديدة لاستعادة المياه التي ضخت على عجل . ويبلغ معدل سرعة المياه الجوفية خلال الصخور الخزائية حوالي ٥٠ قدم / السنة ، بالرغم من أن السرعة قد تكون اكبر من ذلك في مناطق أخرى .

وهذا البطء في حركة المياه الجوفية تستدعي حيلة أخرى ، فحينما يضخ الماء بسرعة من بئر معينة فان مقدار الماء المسحوب من البئر يصبح أكبر من مقدار الماء الاتي اليه ، وكنتيجة لذلك فان الماء ينخفض في البئر ويتخذ شكل مخروط يسمى مخروط الانخفاض (٩) (الشكل (٩ - ١٢)) . فاذا ما تكونت عدة مخاريط منخفضة عند عدة آبار متقاربة نتيجة الضخ السريع منها فان مستوى المياه الجوفي ينخفض بسرعة ملحوظة . وهذا يتطلب تنظيم الإبعاد بين الابار وتنظيم الضخ منها ليتسنى الاستفادة من المياه الجوفية على الوجه الصحيح . ويرى الشكل (١٠ - ١٢) التغييرات التي حصلت عندما ازداد استعمال المياه في جزيرة لونج ايلاند (١٠) . ويلاحظ ان المياه العذبة (١١) قد سحبت بسرعة عالية بحيث تلزم مئات السنين لاستعادتها . ان مثل هذا الاستعمال يشبه عملية التعدين ، بمعنى ان موردا طبيعيا قد استنفذ . ومن اثار سحب المياه الجوفية بسرعة اعلى من سرعة استعادتها الهبوط

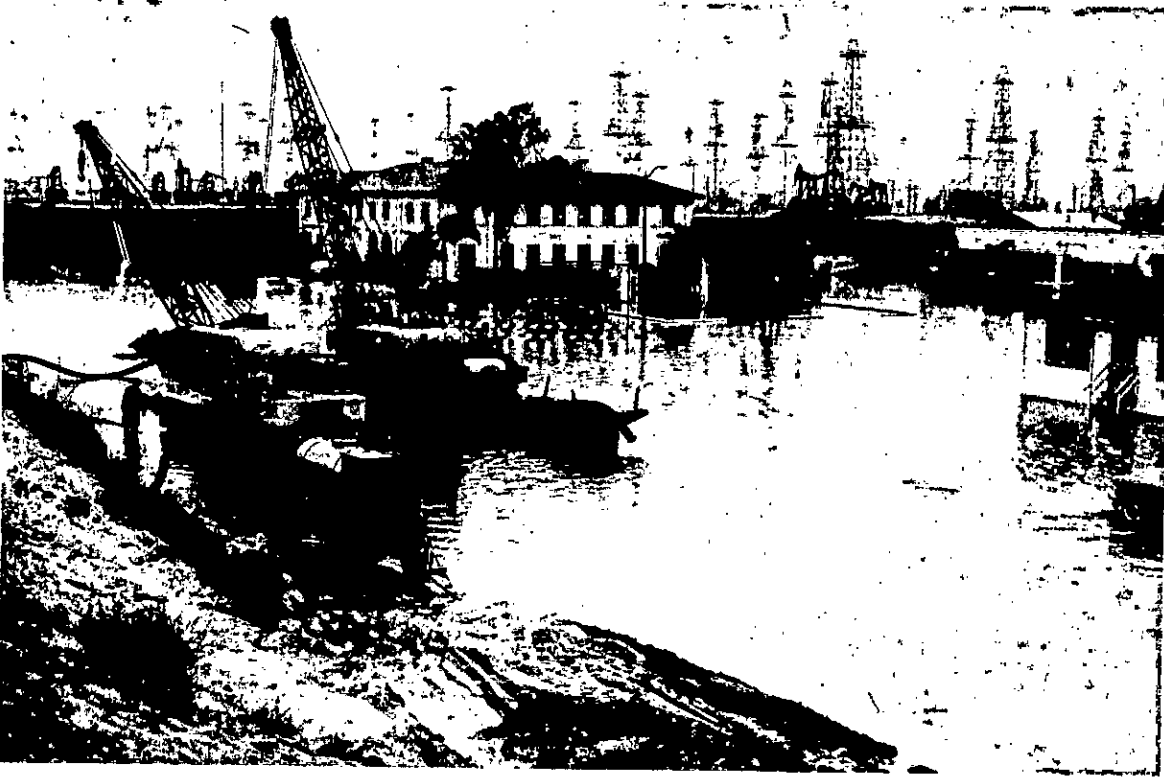


الشكل (٩ - ١٢) : يتكون مخروط الانخفاض عندما تضخ الماء بسرعة فائقة من أي بئر.



الشكل (١٢ - ١٠) : طفيان مياه المحيط المالحة على خزانات المياه الجوفية في مضيق الجزيرة الطويلة بمدينة نيويورك . نشأ ذلك من جراء سحب المياه الجوفية بسرعة أكثر من السرعة التي تستعاد فيها . (الصورة من دورية زائرة المسح الجيولوجي رقم ٥٢٤ لعام ١٩٦٦) .

التدريجي لسطح الأرض . لقد حصل هبوط لسطح الأرض في بعض المناطق بسبب سحب البترول من تحتها (الشكل (١٢ - ١١)) . ولقد حصل انخفاض



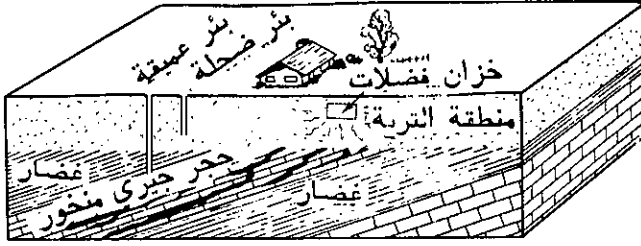
الشكل (١٢ - ١١) : الفيضان الذي عم البلاج الطويل بكاليفورنيا نتيجة استخراج البترول من جوف الأرض وهبوط سطحها .

حتى ٥٠ قدما عمقا في اجزاء من وادي سنترال بولاية كاليفورنيا (١٢) بسبب سحب المياه الجوفية .

وهناك خطر التلوث (١٣) من استعمال مياه الابار الجوفية . فمن الممكن أن يؤدي صرف الفضلات في البوعات (١٤) الى تلوث مياه الابار المجاورة لها . وغالبا ما يكون هناك خطر محقق عندما تتدفق المياه الجوفية بحرية عبر فواصل عريضة (١٥) من صخور الجير المنخورة (١٦) . ولكن اذا ما رشحت المياه الملوثة خلال الرمل والحصى المترسبة فوق مستوى المياه الجوفية فانها تنقي بعد تظلها للصخور ببضع عشرات من الاقدام . وتتم التنقية بالترسيب والاكسدة (الشكل (١٢ - ١٢)) . وقد امكن التخلص من مخلفات البوعات والفضلات

-
12. Central Valley of California
13. Pollution
14. Cesspools

15. Wide Joints
16. Caverneous Limestone



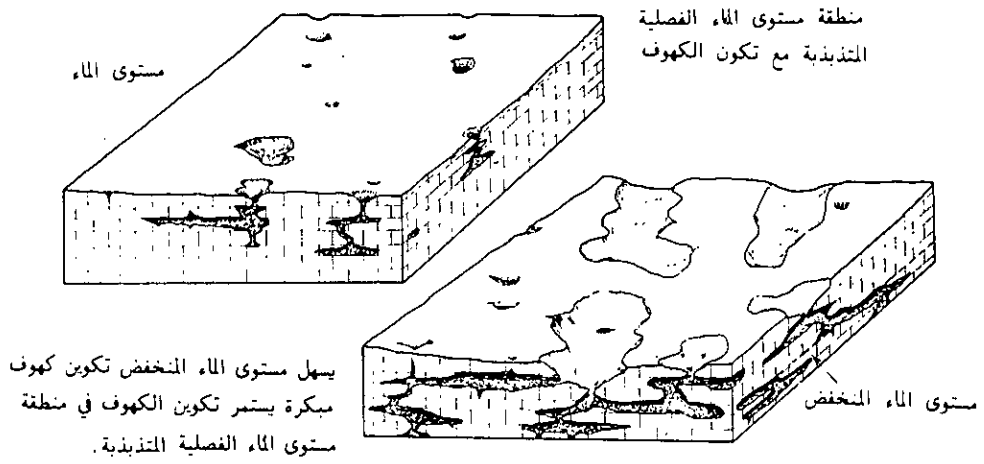
الشكل (١٢ - ١٢) : ثاوث الآبار . في هذا المثال ، ونظرا لان الحجر الجيري منخور ، فان البئر الضحلة تنتج تقريبا مياهها نقية أكثر من البئر العميقة لانها بعيدة عن خزانات الفضلات .

الصناعية بضخها بين الغابات حيث يتخلص نهائيا بهذه الطريقة من خطر التلوث وتزداد بذلك موارد المياه الجوفية .

Geologic Work of Ground Water الأثر الجيولوجي للمياه الجوفية

شرح الكثير عن الفعل الجيولوجي للمياه الجوفية ضمن دراسة موضوع التجوية (١٧) في الفصل الرابع . ان الماء مذيب جيد جدا لا سيما اذا احتوى على ثاني اكسيد الكربون ، وقد رأينا دور المياه الجوفية في التحليل والسمنتة (١٨) . فلا يستغرب ان نجد معظم المياه الجوفية تحتوي على مواد ذائبة ولهذا سميت بالمياه العسرة (١٩) . لهذا نجد مذاقا لمعظم مياه الينابيع والآبار . وفي حالات ، تحتوي المياه الجوفية على كميات من المواد الذائبة تجعلها لا تصلح للاعمال المنزلية والصناعية . فبعض المياه الجوفية التي تستعمل للرّي يترسب فيها املاح ذائبة تبقى في التربة وتهدد باتلافها ما لم يتم غسل التربة من هذه الاملاح باستمرار . فبعض الماء الذي يستخرج بالحفر كان مياهها بحرية وقد دفنت مع الرواسب عندما غارت هذه الرواسب في قاع المحيط .

وتكون المياه الجوفية كهوما ، لا ندرى كيف . فيتكون معظمها في الحجر الجيري ، ولكنها قد تتكون في أية صخور قابلة للذوبان (الشكل (١٢ - ١٣) . فالكالسيوم يذوب في الماء ، وبخاصة الماء الذي فيه ثاني اكسيد الكربون ، كما تقدم عند دراسة الحث الكيماوي . فربما يبدأ تكوين الكهوف تحت مستوى الماء



الشكل (١٢ - ١٣): تطور الكهوف. يبدأ تكون الكهف بأذابة الحجر الجيري الموجود تحت منسوب المياه. ويؤدي انخفاض هذا المنسوب إلى سهولة اتصال الكهوف. تتميز المنطقة ذات الحجر الجيري المنحرب بوجود قلة من الجداول السطحية.



الشكل (١٢ - ١٤): صورة تبين السلاكتايت و السلاجايت في Carlsbad Caverns نيومكسيكو. تتكون السلاكتايت بتنقيط المياه التي تتبخر مرسية الكاليت الذائب في حيز السلاجايت عندما تسقط المياه المحتوية على مذاب الكاليت على أرضية الكهف وتبخرها (الصورة من: National Park Service).

من جراء ذوبان الحجر الجيري على امتداد سطوح الفواصل (٢٠)، فإذا ارتفعت الأرض بعد ذلك أو انخفض مستوى الماء، أدى ذلك إلى نشوء جداول تجري تحت الأرض فتكمل تحت الكهوف.

وهناك أمر آخر يجري في الكهوف (الشكل ١٢ - ١٤) هو ترسب الكالسيت على شكل ستالاكتايت (٢١) أو ستالا جايت (٢٢) أو أية أشكال أخرى تنشأ كلها عن تبخر الماء المحمل بالكربونات.

وفي مناطق الحجر الجيري قد تحتوي الكهوف وغيرها من الانفاق على معظم المياه، وقد يغور من سطح الأرض ويجري إلى الكهوف. وفي منطقة كهذه لا يوجد إلا قلة من الجداول السطحية القصيرة، وتنتهي في منخفضات مغلقة تسمى أحواضاً (٢٣) (الشكل ١٢ - ١٥). وينتج هذا، كما



الشكل (١٣ - ١٥): يبين حوضاً هابطاً من جراء إذابة الحجر الجيري بالمياه الجوفية وربما نشأ بعد الحوض نتيجة انهيار أحد الكهوف.

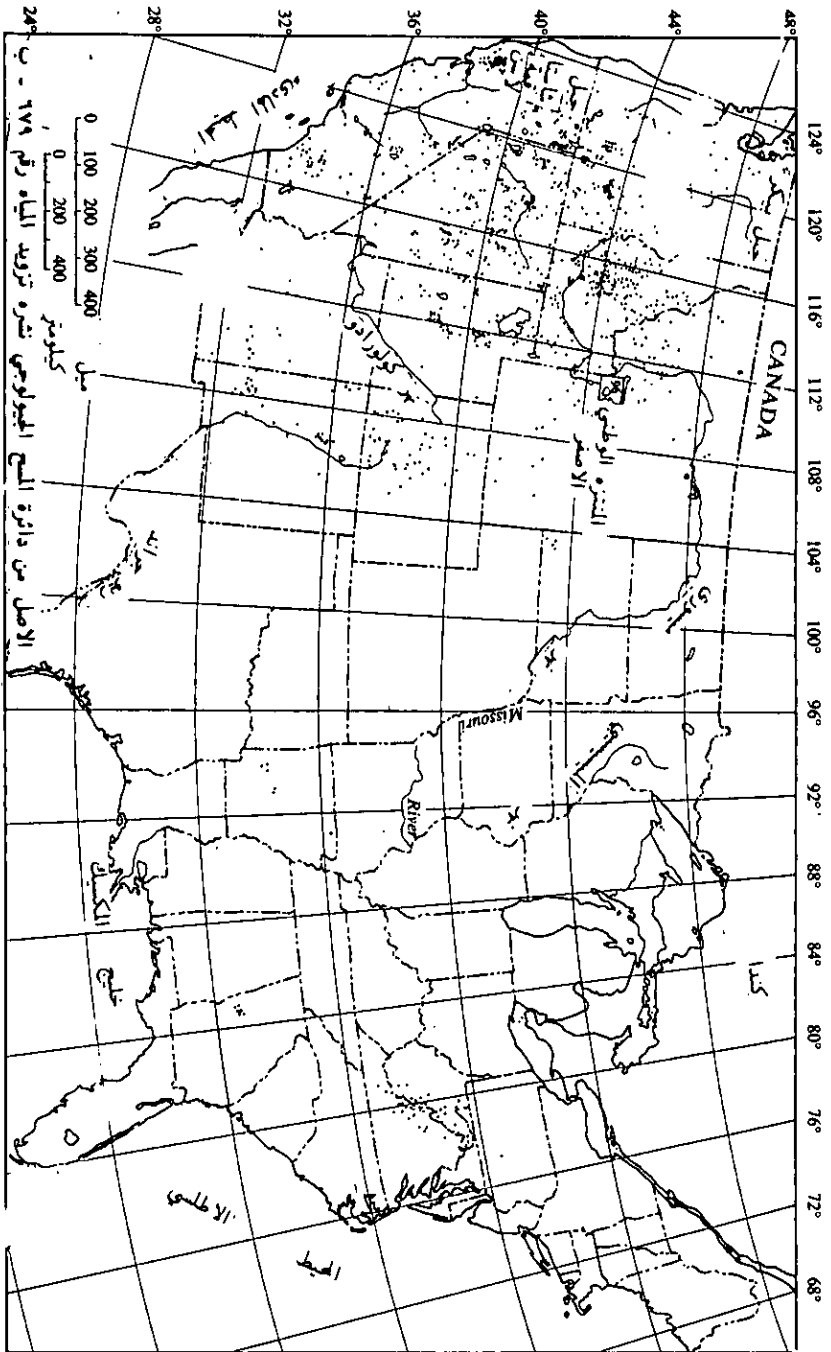
هو متوقع نوعا غير شائع من التضاريس السطحية. وما يستحق الملاحظة انه في حالة تشكل الكهوف فقط يمكن ان تتشكل الجداول تحت سطح الارض. ان كثيرا من الناس لديهم الانطباع الخاطئ بان جميع المياه الجوفية تسير في جداول تحت سطحية تشابه الجداول السطحية. وبنفس المعنى فانه لا توجد بحيرات تحت سطحية، ولكن فقط صخور خازنة تمتلئ فراغاتنا بالمياه.

الينابيع الحارة والنفورات الساخنة Hot Springs and Geysers

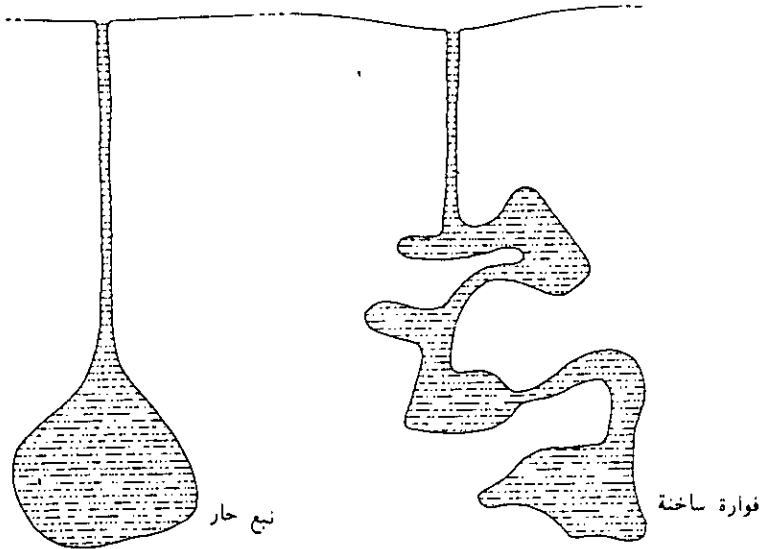
النفورات الساخنة عبارة عن تصريفات دورية للمياه الجوفية الحارة خلافا للينابيع الحارة التي غالبا ما تتدفق مياهها باستمرار (الشكل ١٢ - ١٦)، وقد تبين من دراسة النظائر في مياه الينابيع الحارة والنفورات الساخنة ان معظمها ان لم تكن جميعها عبارة عن مياه جوفية عادية ارتفعت درجة حرارتها نتيجة توغلها الى اعماق بعيدة في باطن الارض حتى لامست اجساما حارة كالصخور النارية مثلا (٢٤). (الشكل ١٢ - ١٧). وتنتج النفورات الساخنة عندما تتجمع المياه في غرف عمودية تحت الارض حيث تسخن. ويسبب ضغط المياه العلوية في ارتفاع درجة غليان مياه القمر. ويؤدي التسخين الى تمدد عمود الماء وينسكب بالتالي بالقرب من القمة. وهذا يؤدي الى انخفاض الضغط، ويحول المياه فوق الساخنة في القاع الى بخار مما يؤدي الى تدفق النفورة الساخنة (الشكل ١٢ - ١٨) وتكرر هذه العملية بشكل او باخر دوريا في النفورة الساخنة. وتحتوي جميع المياه الجوفية على مواد مذابة، بينها تحتوي المياه الساخنة اكثر من ذلك بشكل عام. وعليه فان الينابيع والنفورات الساخنة كثيرا ما ترسب كالكسيت ومعادن اخرى (الشكل ١٢ - ٩ أ).



الشكل (١٢ - ١٦): يبين صورة انبثاق بركان في الـ Old Faithful في منتزه الحجر الاصفر الوطني.
(الصورة من : National Park Service)



الشكل (١٧ - ١٢): مواقع الشياطين الحارة والورارات الساخنة في الولايات المتحدة الأمريكية، فهي توجد
عموماً في المناطق الجبلية المنخفضة والحدية. الصورة من : G. A. Waring. دائرة السح الجيولوجي
الأمريكية، نشر خاصة رقم ٤٩٢، تاريخ ١٩٦٥.



الشكل (١٢ - ١٨): تخطيط مثالي يري نبعا حارا وفواره ساخنة. يتخذ النبع حار (والذي لا تزيد درجة الحرارة في اي مكان فيه على درجة الغليان) اي شكل. فاذا ما اعتبرت درجات الحرارة العالية، فان التشكيل يجب ان يكون على اساس ان الحرارة سهلة التوزيع بالحمل كما هو موضح بالشكل. تتكون الفواره الساخنة اذا لم تتوزع الحرارة بالحمل. ففي الشكل اعلاه، تسخن الماء القريبة من القاع الى نقطة غليانها تقريبا. وتكون نقطة الغليان هنا اعلى من على السطح لان وزن الماء العلوي يزيد الضغط. فالماء العلوي في نظام الفوارات الساخنة يسخن ايضا ومن ثم يتمدد ويتدفق خارجا عند الفتحة العليا. ويخفف هذا وزن الماء على القاع، وبالتالي يخفف الضغط عليه، مسببا الغليان، تتحول مياه القاع الى بخار يتمدد وتتدفق الى الخارج.

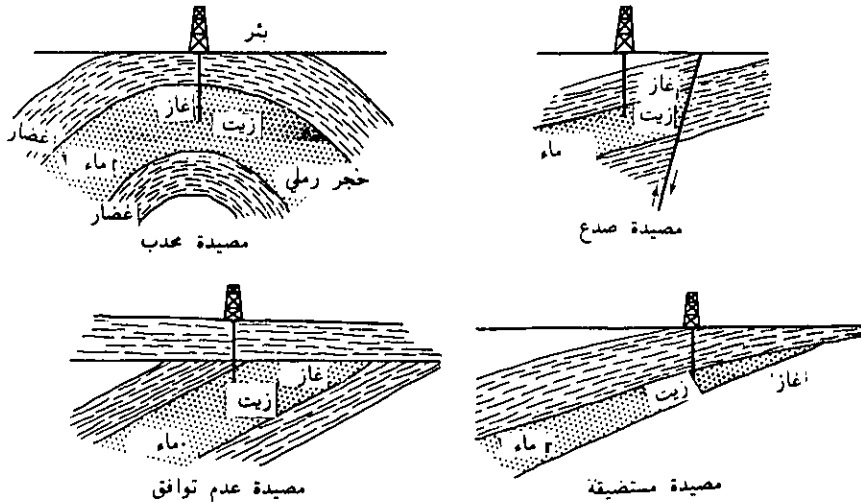


الشكل (١٢ - ١٩) مصاطب بنيت من رواسب الينابيع الساخنة في منطقة ماموت في منتزه الحجر الاصفر الوطني (الصورة من : National Park Service).

Petroleum

البترو

ينطبق معظم ما ذكر عن المياه الجوفية تماما على الموارد الطبيعية السائلة الاخرى كالبترول والغاز. تنشأ هذه المواد اساسا من مواد عضوية تجمعت ضمن صخور رسوبية بحرية بالرغم من ان هنالك ما يتكون منها ضمن صخور البحيرات الرسوبية. وتعتبر طبقات الغضار (٢٥) بانها صخور المصدر (٢٦) الحاوية للمواد العضوية التي يتكون منها البترول. ويستغرق تكون البترول والغاز الطبيعي منها ملايين السنين مع زيادة الحرارة والضغط بسبب الدفن. ويتحرك البترول والغاز ببطء شديد من صخور الغضار المصدرية، وهذه لا تعتبر ذات قيمة اقتصادية اذا ما عثر عليها بالحفر الا حينما تكون المادة العضوية قد هاجرت منها الى صخور خزائية منفذة (٢٧) وحتى يتكون حقل بترولي فلا بد من تواجد صخور مصدر وصخور خزائية ومصيدة (٢٨) والاخيرة عبارة عن غطاء صخري غير منفذ. يرتفع البترول في اعلى الخزان البترولي نظرا لانه اخف من الماء. ويرى الشكل (١٢ - ٢٠) عدة انواع من المصائد البترولية. وتؤخذ نفس



الشكل (١٢ - ٢٠) انواع مصائد البترول والغاز. اما اصطلاحات «محدب»، «عدم توافق»، «صدع» فستبحث في فصول اخرى من هذا الكتاب.

25. Shale

26. Source Rocks

27. Permeable Reservoir Rocks

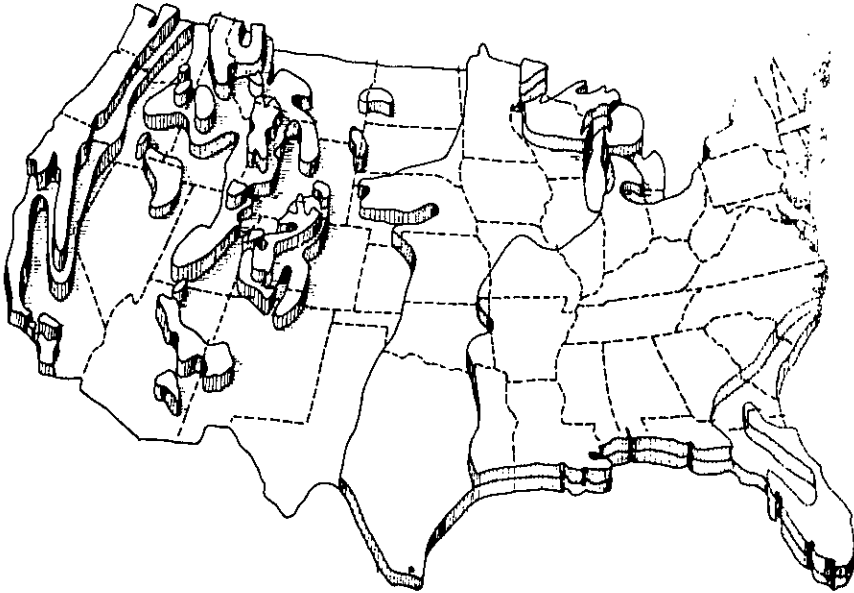
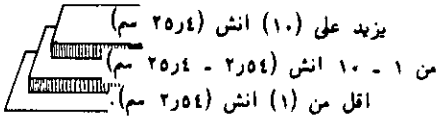
28. Trap.

الاحتياطات التي وردت اثناء الحديث عن ابار المياه الجوفية من حيث ابعاد الابار وسرعة المضخ في حقول البترول.

Water Resources

الموارد المائية

يعتبر الماء من اخص وانفع السلع التي يملكها الانسان فبالرغم من سهولة الحصول عليه الا ان هناك نقصا متزايدا في المخزون المائي في كثير من بقاع العالم. فهل يعتبر هذا النقص بؤادر سيئة تعني ان بعض المناطق قد وصلت حدها في التطور ام اننا نسيء استعمال مصادر مياهنا؟.



الشكل (١٢ - ٢٩): المعدل السنوي لجريان الماء في انهار الولايات المتحدة. (الصورة من مديرية الزراعة في الولايات المتحدة عن كتاب المياه السنوي لعام ١٩٥٥).

فالماء مشكلة عالمية ولكننا هنا سنركز البحث على الولايات فقط باستثناء الاسكا وهاواي. ان نفس المشاكل الطبيعية تحدث في كل مكان وهذه تضخمت الى حد كبير او قليل بمرحلة التطور الصناعي التكنولوجي للبلدان المختلفة.

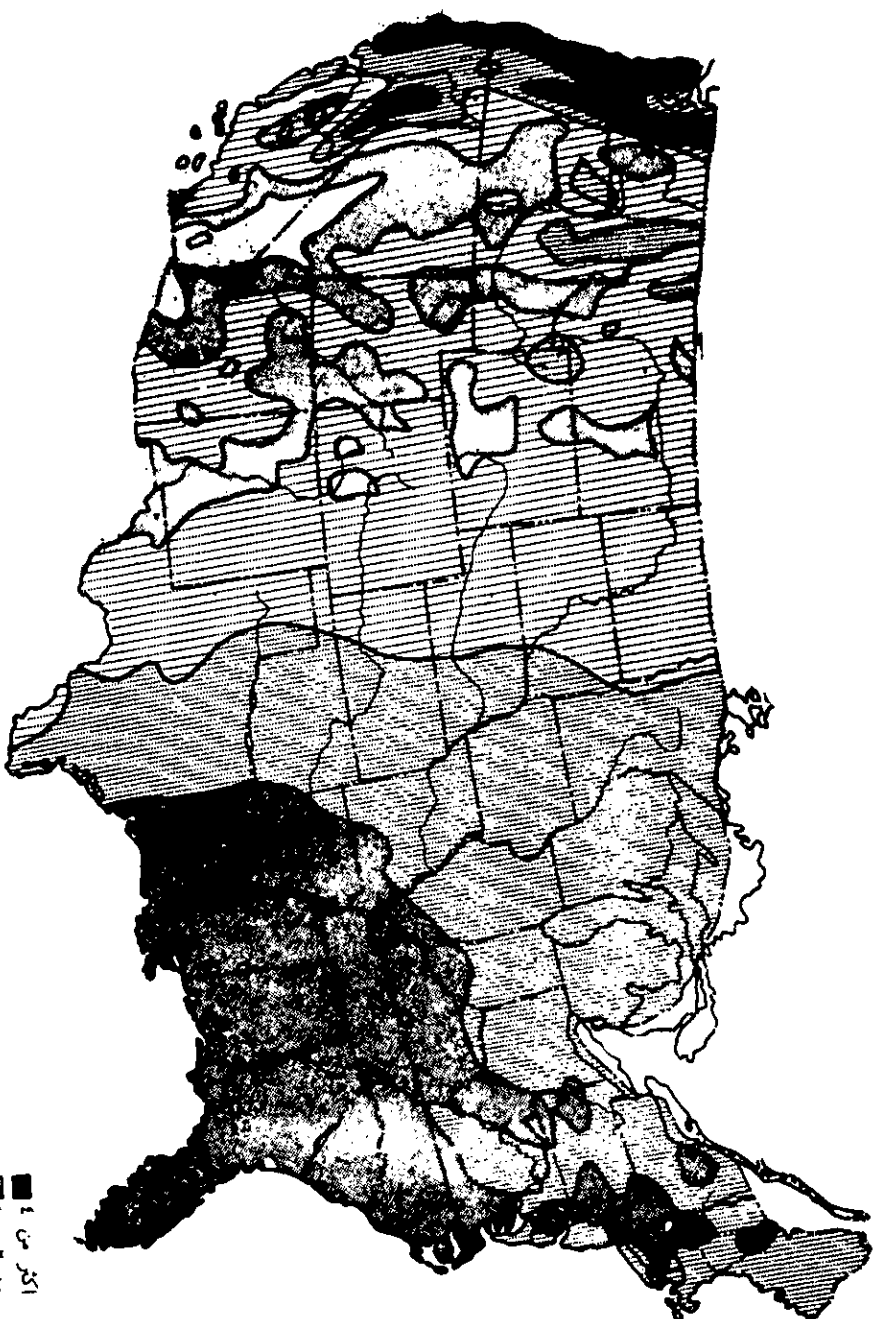
تسقط الامطار على الولايات المتحدة بمعدل (٣٠) انشا كل سنة، ويفقد منها حوالي (٢١٥) انشا اما بالتبخر او تستعمله النباتات، في حين يجري الماء المتبقي ومقداره (٨٥) انشا اما على شكل انهار او يرشح الى باطن الارض، وهذا يستغله الانسان لاغراضه الخاصة (الشكل ١٢ - ٢١)). وتقدر كمية الماء الموجودة بحوالي (١٢٠٠) بليون جالون يوميا الا ان مقدار المياه المستهلكة في عام ١٩٦٠ قد بلغت (٢٧٠) بليون جالون في اليوم. وهذا يعني ان هناك احتياطا يساوي اربع مرات ما يستهلك من المياه. ولكن حقيقة ذلك ليست بهذه السهولة اذ لا بد من اعتبار عدة عوامل اخرى في هذا المجال، كالتوزيع الطبيعي للمياه والحاجة اليها لحمل الفضلات، ثم الماء الضروري للنباتات الذي يعتبر الحلقة الغذائية التي تعتمد عليها حياة الانسان.

Natural Distribution of Water

التوزيع الطبيعي للمياه

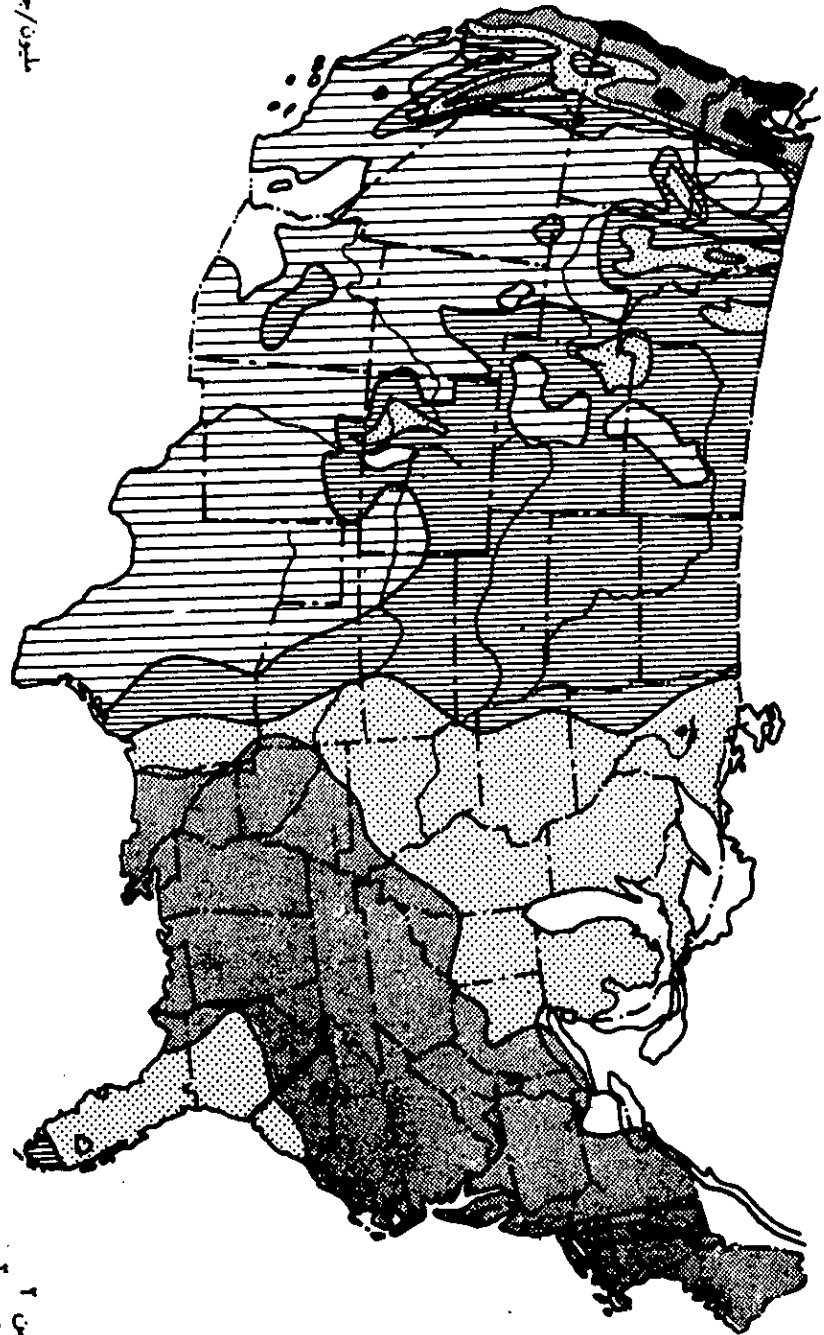
لا يعتبر توزيع سكان الولايات المتحدة منظما وفق توزيع كمية مياه الامطار. اذ تتراوح كمية الامطار ما بين (٨٥) انشا في كل سنة في الشمال الغربي للولايات المتحدة الى (٤) انشات في جنوبها الغربي (الشكل ١٢ - ٢٢)). فإذا ما اعتبرت المحطات الفردية فان المجال يحتل كثيرا وتعتبر هذه ارقاما وسطية وربما تختلف قيمها كثيرا من سنة الى اخرى وخاصة في المناطق الجافة. ويتغير المناخ ايضا كما يتضح في (الشكل ١٢ - ٢٣)، حيث ان التبخر الكامن والمحتمل والاستهلاك النباتي للماء يزيد على ما يسقط من مياه الامطار في غرب الولايات المتحدة الامريكية. وهذه هي المناطق المجدبة (٢٩) حيث ان جريان الماء فيها لا يتم الا بعد ان تتعرض لمواصف هوجاء غير كثيرة. فاستعمال الماء مرهون بالفصل الذي تسقط فيه الامطار. ففي معظم شرق الولايات المتحدة يسقط معظم المطر في فصل نمو النباتات في حين ان معظم الامطار في غربها لا يسقط الا في اشهر الشتاء فقط. لكل هذه الاسباب مجتمعة، فان بعض المناطق ذات اكتفاء مائي ومناطق قليلة تحظى بوفرة منها، في حين ان الكثير من المناطق يعاني من شح المياه مع العلم بان جميع الماء المتوافر يفوق الاستهلاك المحلي بأربعة اضعاف.

لقد اقيمت السدود والانشاءات الاخرى على مجاري الانهار في محاولة



الشكل (١٣ - ٢٢): التوزيع السنوي لتجميع المياه في الولايات المتحدة الموحدة لها بيلين
 إحصائيات / اليوم / البيل الرابع.
 الصورة من A. M. Piper ، دائرة المسح الجيولوجي الأمريكية ، شجرة تزويد المياه رقم ١٧٨٧ ،
 لعام ١٩٦٥).

- أكثر من ٤
- ▨ من ٣ - ٤
- ▧ من ٢ - ٣
- ▦ من ١ - ٢
- ▥ من ٠.٥ - ١
- ▤ من ٠.٢٥ - ٠.٥
- أقل من ٠.٢٥



مليون/جالتون يوم /ميل مربع

الشكل (١٧ - ٢٢): زيادة ونقص المياه في الولايات المتحدة. تبين الخريطة المرسومة معدل سقوط الأمطار مطروحا منها البخر المحتل والاستهلاك المائي للنباتات.
المصدر من: A. M. Piper ، دائرة المسح الجيولوجي الأمريكية، نشرة التقنية المائية رقم ١٧٨١٧ لعام ١٩٦٥.

الكم من ٢
من ١٠٠ - ٢٠٠
من ٥٠ - ١٠٠
من ٢٠ - ٥٠
من ١٠ - ٢٠
أقل من ١٠

الجدول (١٢ - ١٠) : الانهار الكبيرة:
أ- في العالم:

الرتبة	النهر	القطر	منطقة التصريف (الاف الميال المربعة)	متوسط الصرف عند المخرج (الاف الاقدام الكمية/ث)
١	أمازون	البرازيل	٣٢٣١	٣٠٠٠-٤٠٠٠
٢	الكونغو	الكونغو	١٥٥٠	١٤٠٠
٣	اليانجزي	الصين	٧٥٠	٧٧٠
٤	البارامابوتزا	بنغلادش	٣٦١	٧٠٠
٥	الغانجيز	الهند	٤٠٩	٦٦٠
٦	اليانيسي	الاتحاد السوفياتي	١٠٠٠	٦١٤
٧	اليسيهي	الولايات المتحدة	١٢٤٤	٦١١
٨	اللينا	الاتحاد السوفياتي	٩٣٦	٥٤٧
٩	البارانا	الارجنتين	٨٩٠	٥٢٦
١٠	سنت لورانس	الولايات المتحدة وكندا	٤٩٨	٥٠٠
٢٦	الدانوب	رومانيا	٢١٥	٢١٨ (أكبر انهار أوروبا)

ب - في الولايات المتحدة

الرتبة	النهر	الطول (أميال)	منطقة التصريف (الآلاف الأجيال المربعة)	متوسط الصرف عند المخرج (الآلاف الأقدام المكعبة/ ث)	الصرف بالمعدات عند اقرب مخبرج (الآلاف الأقدام المكعبة/ ث)	
					متوسط الصرف	أعلى السجلات
١	البحري	٣٨٩٢	١٢٤٣٧	٦١١	٥٥٣	٧٠٨٠
٢	أومايو	١٣٠٦	٢٠٣٩	٢٥٩	٢٥٧	١٨٥٠
٣	كولومبيا	١٢١٤	٢٥٨٣	٢٥٦	١٨٣	١٢٤٠
٤	سنت لورانس	—	٣٠٢٠	٢٤١	٢٣٦	٣١٤
٥	البيوري	٢٧١٤	٥٢٩٤	٦٩	٦٩	٨٩٢
٦	التيني	٩٠٠	٤٠٦	٦٤	٦١	٤٦٠
٧	الموبيل	٧٥٨	٤٢٣	٥٨	—	—
٨	الاجر	١٣٠٠	٩١٤	٥٧	٥١	٢٣٣
٩	النشان	١٠٣٨	١٠٩٠	٤٩	٤٩	٤٠٩
١٠	الاركساس	١٤٥٠	١٦٠٥	٤٢	٤١	٥٣٦

للتغلب على مشاكل التوزيع الطبيعية وللتحكم في الانهار وتحويلها، ان كثيرا من هذه المشاريع ذات اغراض متعددة ويمكن ان تعود بالنفع مثلا في تزويد البلديات بالمياه والتحكم بالفيضانات والري والكهرباء وفي اعادة تعمير المناطق. ويعتبر التحكم في مياه الانهار، وفوائد ذلك، مشكلة دائمة بسبب التزاحم على المياه واستعمال خزانات السدود، ويزداد التبخر الكلي من اي بحيرة او سد او خزان ينشأ، ومن ثم فان بعض الماء يفقد. وتكون نسبة التبخر مرتفعة في المناطق المحدبة، الا ان الدراسات الحالية توصلت الى ان كثيرا من التبخر يمكن ان يزال وذلك بوضع طبقة رقيقة من الكحول الدهني (٢٠) على سطح الماء.

ويعتبر جريان اي نهر موسميا تماما كنزول الامطار، وفي معظم اوقات الجريان العظمى يمكن ان تحدث الفيضانات حيث يفقد كثيرا من مياهه الجارية في المحيط، وعموما فان الحد الاقصى لجريان اي نهر يساوي ٥ - ١٠ مرات من حده الأدنى. ويعتبر نهر سنت لورنس (٢١) اعظم نهر منتظم في الولايات المتحدة حيث لا يتجاوز حد جريانه الاقصى ضعف حده الأدنى. ويرجع ذلك الى ان مصدر جريانه الرئيسي هو البحيرات العظمى (٢٢) الجدول (١٢ - ١). وبنفس الطريقة يمكن ان تعمل السدود التي تحجز خلفها بركا من الماء على تنظيم جريان الماء في الانهار وبالتالي تزيد من كمية الماء المستغلة. وفي بعض المناطق فان مثل هذه السدود تمنع معظم الفيضانات، غير انه اذا حدث فيضان في سنة غير عادية فان جزءا كثيرا يمكن ان يفقد لان المنطقة التي لم تعمر بالفيضان سابقا ستعرض لهذا الفيضان.

استعمال واستهلاك المياه:

لا بد من التفريق بين الماء المستعمل والماء المستهلك، فالماء المستهلك هو ذلك الماء المتبخر الى الجو او الذي تستعمله النباتات. اما بقية الماء المسحوب للاستعمال فيعود اما الى باطن الارض.

او يجري عليها، ومن ثم يصبح متوافرا للاستعمالات الاخرى. ففي بعض الحالات فان الماء المسترجع لا يتأثر بالاستعمال، غير انه في معظم الحالات تسوء نوعيته، فالماء المسحوب ليس الوحيد الذي يستخدمه الانسان، حيث ان الماء الجاري نفسه يستخدم لاجراض عديدة في معظم الانهار. ان معظم الماء المستخدم في نمو المحاصيل ياتي من رطوبة التربة ومن ثم فهو لا يسحب ويبدو انه لا بد من اخذ هذه التعقيدات المختلفة بعين الاعتبار في تفهم احتياجاتنا من الماء.

وبين الجدول (١٢ - ٢) الماء المسحوب المستعمل والمستهلك. لاحظ ان حوالي ٢٥ ر. الماء المسحوب هو المستهلك الحقيقي، وان هذا يكون نسبة مئوية قليلة من المجموع الكلي للماء المتوافر. ان الجاليات التي تسكن على مجرى نهر ما تقوم باعادة استعمال مياهه في الاغراض العامة. فالجالية التي تسكن في اعالي النهر تقوم بسحب حاجتها من المياه بالقرب من موقعها. وتتخلص من فضلاتها في اسفل ذلك الموقع. في حين تسحب جالية اخرى تسكن في اسفل ذلك النهر ما تحتاجه من المياه من موقعها ايضا وهكذا تستعمل مياه النهر مرة اخرى. ولقد قدرت نسبة المياه الموزعة للاغراض العامة بـ ٦٠٪ وهذه يدخل في ضمنها بعض الماء المستعمل.

ويمكن اعادة استعمال مياه النهر مرة اخرى اذا اخذت الجاليات التي تسكن اعالي النهر الاحتياطات اللازمة لمعالجة قاذورات بالوعاتهم قبل التخلص منها بالنهر. فالمواد المنظفة التي لا يستطيع التحكم فيها بشكل كاف في معامل تكرير الفضلات تعتبر في حد ذاتها مشكلة عصرية لانها تكون زبدا في اسفل مجاري جداول المياه التي تستعمل في الاغراض العامة. ولسوء الحظ فان ثلثي سكان الولايات المتحدة تمتلك مجاري وان ثلثي انظمة هذه المجاري تعالج محتوياتها قبل التخلص منها. فكثير من الماء المسحوب للاغراض الصناعية يعاد استعماله مرة اخرى في بعض الحالات فان ماء الصناعة المسترجع هذا، كالماء المسترجع للاغراض المنزلية، لا بد من تنقيته اما طبيعيا او عن طريق الانسان قبل اعادة استعماله وفي حالات اخرى فان الماء الصناعي المستعمل مرة اخرى يكون ساخنا ومن ثم يغير من بيئة (٢٣) المجرى الذي تسير فيه.

فالماء الجاري ليس ماء ضائعا وانما يستعمله الانسان، وذلك في انتاج الطاقة الهيدروكهربائية وفي التعمير وفي نقل الفضلات كما ذكر اعلاه. ويشير التلوث الواسع الانتشار في مياه الانهار والجداول الى اننا نقصنا قربنا من الحد

الجدول (١٢ - ٢) : يبين هذا الجدول استعمال واستهلاك الماء المسحوب والكيات مقدرة ببلدين المجاوات باليوم .

المستهلك				المسحوب			الاستعمال
٢٠٠٠		١٩٨٠		١٩٦٠		٢٠٠٠	
النسبة	الكمية	النسبة	الكمية	النسبة	الكمية	الكمية	الكمية
الثروة	الثروة	الثروة	الثروة	الثروة	الثروة	الكمية	الكمية
المسحوبة	المسحوبة	المسحوبة	المسحوبة	المسحوبة	المسحوبة	الكمية	الكمية
للاستعمال	للاستعمال	للاستعمال	للاستعمال	للاستعمال	للاستعمال	الكمية	الكمية
١٣ر١	٥٥	١٢ر١	٣ر٥	١٦ر٧	٣ر٥	٤٢	٢١
٣ر٦	٣٤	٣	١١	٢ر٣	٣ر٢	٦٦٧	١٤٠
٦٨ر٥	١٢٦	٦٢ر٣	١٠٤	٥٦	٦١ر٣	٣٨٤	١٠٩ر٦
-	٩٧	-	٧١	-	-	-	-
٢٨ر٤	٢٥٢ر٥	٣٤	١٨٩ر٥	٧٤ر٦	٦٨ر٠	٨٨٨	٥٥٩
							٢٧٠ر٦
							البلديات
							الصناعة
							الزراعة
							المرقع
							المجموع

الاقتصاد من استعمالها ما يمكن للتخلص من الفضلات في مناطق كثيرة بالرغم من التحسينات الكثيرة التي طرأت على معالجة الفضلات قبل صرفها في النهار . ويمكن لمس حجم مشكلة صرف الفضلات في النهار بالوقوف على حقيقة مما تنتجه مدينة سنت لورنس الواقعة على نهر الميسيسيبي من الفضلات . فهي تنتج وحدها ٢٠٠.٠٠٠ جالون من البول (٢١) ٤٠٠ طن من الفضلات الصلبة التي يخرجها الانسان يوميا بالاضافة الى الفضلات الصناعية .

ان الري هو المستهلك الرئيسي للمياه المسحوبة (الجدول (١٢ - ٢)) . ويلاحظ ان ما يزيد على ٧٠٪ من المجموع الكلي لمياه الامطار اما يتبخر او تستعمله النباتات . ومن ثم فان النباتات تستهلك معظم حصتنا من الماء والذي لا بد من اخذه بعين الاعتبار في اي دراسة لانها تعتبر احدى الموارد المائية .

وتقوم الحياة على الارض على الخضرة (٢٥) . فالنباتات هي القاعدة التي تبني عليها سلسلة الغذاء . ويلزم لنمو النباتات كميات كبيرة من المساء . فالعوم الواحد من الذرة الصفراء يفقد الى الغلاف الجوي ما مقداره (٤٠٠.٠٠٠) جالون من الماء يوميا . ولا بد من (٥٠٠) رطل انجليزي من الماء لانتاج رطل واحد من الذرة الجافة . ان معظم هذه المياه تذهب الى الغلاف الجوي عن طريق الاوراق وي طرح للطحن نصف الذرة ومن ثم يلزم (١٠٠٠) رطل من الماء لانتاج رطل واحد من الخبز الجاف . من ثم فان انتاج (٢٥) رطل من الخبز يوميا ، التي يمكن ان تعتبر غذاء يوم ، يحتاج الى (٢٥٠٠) رطل من الماء او ما يعادل (٣٠٠) جالون ماء . واللحم يحتاج الى ماء اكثر ، فيلزم لانتاج رطل واحد منه حوالي (٣٠) رطلا من الفالفا (٣٦) و (١٢) جالونا من الماء الصالح للشرب . ويحتاج (٣٠) رطلا من الفالفا الى (٢٣٠٠) جالون من الماء لنموها . وهكذا فان اقل كمية من الماء تلزم لاستمرار الحياة على الخبز فقط هي (٣٠٠) جالون ماء يوميا و (٢٥٠٠) جالون ماء اذا ادخل اللحم . والماء ضروري كذلك لانتاج الملابس ومنفس الطريقة يحتاج القطن الى اقل مما يحتاجه الصوف من المساء .

الاحتياجات المائية في الحاضر والمستقبل.

Water needs present and future

الموارد المائية نوعان : الماء المتوافر ، ويتألف من الماء الجاري والجوي ، ورطوبة التربة وهذه تستعملها النباتات أو تتبخر ، فكلما النوعين من الماء ضروري للإنسان إلا أن معظم تقديرات الاحتياجات المائية تنحصر بالماء المسحوب فقط . و يبلغ معدل سقوط الأمطار على الولايات المتحدة (٣٠) انشاً في السنة أو ما يعادل (٦٢٠٠) بليون جالون يومياً . ومن هذا فإن (٨٥) انشاً أو ما يعادل (١٢٠٠) بليون جالون ماء يومياً هو الماء المتوافر في حين أن (٢١٥) انشاً أو ما يعادل (٣٠٠٠) بليون جالون ماء يومياً يتبخر أو تستعمله النباتات هنا . وسوف يؤخذ في الاعتبار متطلبات النباتات من الماء أولاً لاعتقاد جميع صور الحياة عليها . يمكن تحديد أدنى كميات الماء اللازمة لإنتاج الغذاء بشكل أفضل وذلك بضرب عدد مرات السكان المستهلكة للماء مع النباتات المنتجة للغذاء . لقد قدر عدد سكان الولايات المتحدة في عام ١٩٦٠ بحوالي (١٨٠) مليون نسمة فيلزم (٣٠٠) جالون ماء يومياً لتغذية الناس على الخبز فقط (٢٥٠ رطلاً من الخبز) مضروباً في (١٨٠) مليون مرة أو ما يعادل (٥٤) بليون جالون ماء يومياً . ويتألف غذاؤنا في الوقت الحاضر من لحم بالإضافة إلى بعض الخضروات كل يوم ويستهلك هذا حوالي (٢٥٠٠) جالون ماء يومياً للفرد الواحد أو حوالي (٤٥٠) بليون جالون ماء يومياً لجميع السكان . ويسحب من هذا الماء حوالي (٥١) بليون جالون فقط للري (الجدول (١٢ - ٢)) . ومن ثم فإن حوالي (٤٠٠) بليون جالون ماء يومياً من ماء التربة يستخدم لإنتاج الغذاء . ويأتي ماء التربة هذا من الـ (٣٠٠٠) بليون جالون ماء يومياً الذي يتبخر أو تستخدمه النباتات . وعلى كل حال ، فقد قدر أن حوالي نصف الـ (٣٠٠٠) بليون جالون ماء يومياً يتبخر والنصف الآخر تستخدمه النباتات . وعلى كل ، فقد وجد أن ١/٤ مجموع ماء المطر الساقط على المناطق المجربة لا يستخدم لإنتاج المحاصيل المفيدة . وبالرغم من أن هذه تقديرات غير دقيقة وتقريبية إلا أنها أشارت إلى أن ما يقارب (١٢٠٠) بليون جالون ماء متوفر لإنتاج المحاصيل وأن (٤٠٠) بليون جالون من ذلك يستخدم حالياً لتغذيتنا . ويستنتج بأن هناك تفاوتاً إجمالياً من

انه يمكننا تغذية ثلاثة اضعاف عدد سكان الولايات المتحدة الذي تغذيه حاليا ،
الا ان ذلك سيغني استبدال جميع خضرتنا الطبيعية ، بما فيها الغابات ،
بالمحاصيل المفيدة . اما كم من الغذاء يمكن ان ينمو ومن أين سيأتي الماء لذلك
فهي مشكلة لا بد من مواجهتها في المستقبل القريب .

ان الماء المسحوب الذي سيحتاج اليه في المستقبل قد حسب كما هو موضح
في الجدول (١٢ - ٢) . وتبين هذه التقديرات ان الماء المسحوب حالياً
سيتضاعف في عام ١٩٨٠ وسيرتفع الى اكثر من ثلاثة اضعاف في عام ٢٠٠٠ .
وفي الحقيقة فان كميات الماء المستهلكة ستزداد اكثر ، الا ان هذه الارقام جميعها
اقل من المجموع الكلي للماء المتوافر . فاذا كانت هذه الارقام صحيحة فاناغالباً
ما سنسحب ٣/٤ الماء الكلي المتوافر في عام ٢٠٠٠ . وحتى يمكن تحقيق ذلك ،
فلا بد من ضبط وتنظيم مواردها المائية اكثر مما هي عليها اليوم . فهذه بلاد
تتطلب اتفاق كثير من الفكر ، والبحث ، والمال بسرعة فيها اذا ما اردنا ان نحصل
على مياه كافية في المستقبل .

ومن الممكن زيادة الماء المتوافر للمستقبل . فالتحكم في بخر الاجسام المائية
ورطوبة التربة هي احدى الاحتمالات . ان تخفيض الاعتماد على المياه الجارية
لتصريف الفضلات فيها احتمال اخر . وتنظيم الانهار بحيث ان كثيراً من مياهها
الجارية التي يمكن ان تستعمل سيكون ضروريا ، وهذا يستدعي نقل الفضلات
من منطقة تصريف الى منطقة اخرى . وربما ستساعد تحلية (٢٧) مياه البحر
بالطاقة الذرية بعض المناطق الا انها ربما تكون مكلفة . ان الاستعمال الفعّال
للمياه الجوفية التي هي جزء حقيقي من المياه الجارية ومورد للمياه المتدفقة في معظم
الانهار الدائمة الجريان (٢٨) . فاستخدام المياه الجوفية أسرع مما يعاد منها
سيخفض معدل الماء الجاري فقط وسيزيد الماء المتوافر بصورة مؤقتة فقط .

أسئلة

- ١٢ — ١ : ماهي العلاقة العامة بين المستوى المائي والتضاريس ؟
- ١٢ — ٢ : ماهي المسامية ؟
- ١٢ — ٣ : ماهي النفاذية ؟
- ١٢ — ٤ : ماذا يحدث بالقرب من بئر ضخّت مياهه بسرعة ؟
- ١٢ — ٥ : ان معدل سرعة حركة المياه الجوفية هي ... ؟
- ١٢ — ٦ : ارسم بئرا ارتوازية . كم هو عمر المياه في بئر كهذا ؟
- ١٢ — ٧ : صف الخاصية الشعرية كما تطبق على علم الجيولوجيا .
- ١٢ — ٨ : ارسم اصناف ينابيع مختلفة .
- ١٢ — ٩ : ارسم مستوى ماء محجوز .
- ١٢ — ١٠ : في اي صنف صخري يكون التلوث غالبا مشكلة محتملة ؟
- ١٢ — ١١ : صف طريقة واحدة لتدفق فوارة ساخنة .
- ١٢ — ١٢ : كيف تكونت الكهوف .
- ١٢ — ١٣ : صف كيف أن التضاريس تختلف في منطقة يحدها من اسفل حجر جيري مذاب بمقارنته بمنطقة اخرى يحدها حجر رملي . افرض المنساح الرطب .
- ١٢ — ١٤ : ارسم اصنافا مختلفة من المصائد البترولية .
- ١٢ — ١٥ : ما طبيعة مشكلة مياه الولايات المتحدة ؟
- ١٢ — ١٦ : ما هو الاستخدام الرئيسي للمياه الجارية في الوقت الحاضر ؟

مراجع إضافية

General

- Baldwin, H. L., and C. L. McGuiness, *A Primer on Ground Water*. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1963, 26 pp.
- Bradley, C. C., "Human Water Needs and Water Use in America," *Science* (October 26, 1962), Vol. 138, No. 3539, pp. 489-491.
- Hackett, O. M., *Ground-Water Research in the United States*. U.S. Geological Survey Circular 527, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1966, 8 pp.
- Keefer, W. R., *The Geologic Story of Yellowstone National Park*. U.S. Geological Survey Bulletin 1347, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1971, 92 pp.
- Leopold, L. B., and K. S. Davis, *Water*. Life Science Series, New York: Time, Inc., 1966, 200 pp.
- Leopold, L. B., and W. B. Langbein, *A Primer on Water*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1960, 50 pp.
- Meinzer, O. E., *Ground Water in the United States*. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 836-D, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1939, pp. 157-229.
- Piper, A. M., *Has the United States Enough Water?* U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1797, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1965, 27 pp.
- Swenson, H. A., and H. L. Baldwin, *A Primer on Water Quality*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1965, 27 pp.
- Thomas, H. E., and L. B. Leopold, "Groundwater in North America," *Science* (March 5, 1964), Vol. 143, No. 3610, pp. 1001-1006.
- U.S. Department of Agriculture, *Water*. U.S.D.A. Yearbook, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1955, 218 pp.
- Vogt, E. Z., and Ray Hyman, *Water Witching, U.S.A.* Chicago: University of Chicago Press, 1959.

Caves

- Mohr, C. E., and H. N. Sloane, *Celebrated American Caves*. New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 1955, 339 pp.
- Moore, G. W., "Origin of Limestone Caves: A Symposium," *Bulletin, National Speleological Society*, 1960, Vol. 22, Part 1, 84 pp.

Moore, G. W., and G. Nicholas, *Speleology: The Study of Caves*. Boston: D.C. Heath and Co., 1964, 128 pp. (paperback).

Waste Disposal

Clark, J. R., "Thermal Pollution and Aquatic Life," *Scientific American* (March, 1969), Vol. 220, No. 3, pp. 18-27.

Merriman, Daniel, "The Calcification [warming] of a River," *Scientific American* (May, 1970), Vol. 222, No. 5, pp. 42-52.

Schneider, W. J., *Hydrologic Implications of Solid-Waste Disposal*. U.S. Geological Survey Circular 601-F, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1970, 10 pp.

الجزء الثالث العمليات الداخلية والجيولوجيا التركيبية

INTERNAL PROCESSES —STRUCTURAL GEOLOGY

رأينا في الجزء الثاني مدى أهمية الحث في الجيولوجيا . وفي الفصل الثالث سنسعى للكشف عن العمليات الباطنية التي تشوه التراكيب الصخرية على سطح الأرض والتي يعود السبب إليها في عدم تسوية سطح الأرض بالحث . ثم ان جميع المظاهر التركيبية السطحية سواء كانت كبيرة او صغيرة فان سببها وجود هذه الحركات الباطنية . وكلمة التراكيب تستعمل هنا في مضمونها الشامل لتحقيق اي تركيب بأي مقياس ، من اكبرها الى اصغرها .

لقد وضعت فصول هذا الجزء من الكتاب مرتبة حسب مقياس تلك التراكيب فنحن نعالج في الفصل الثالث عشر اكبرها حجما واهمية ونسلط الضوء على طبقاتها الداخلية في باطن الأرض بشكل عام . وفي الفصل الرابع عشر نبحث في اكبر التراكيب الموجودة على القشرة الأرضية فقط والفوارق بين القسارات والمحيطات ، أما الفصلان الخامس عشر والسادس عشر فانهما يصفان التركيبات الموجودة في القارات والمحيطات ، كلا على حدة بسبب الاختلاف بينهما في البيانات والمدلولات . وأخيرا في الفصلين السابع عشر والثامن عشر من هذا الجزء من الكتاب سوف نستكشف النظريات المختلفة التي وضعت لتوضح تركيبات سطح الأرض .

الفصل الثالث عشر الزلازل وباطن الارض

Earthquakes and the Earth's Interior

طبيعة الارض: شكلها وحجمها ووزنها
شكل الارض وحجمها
وزن الارض
توزيع الكتلة في الارض
الحفرات الارضية وعلم الزلازل
سبب الزلازل
أنواع الأمواج الاهتزازية
الدمار الذي تسببه الزلازل

حجم الزلازل
بعض الامثلة على الكوارث الزلزالية
التنبؤ بالزلازل

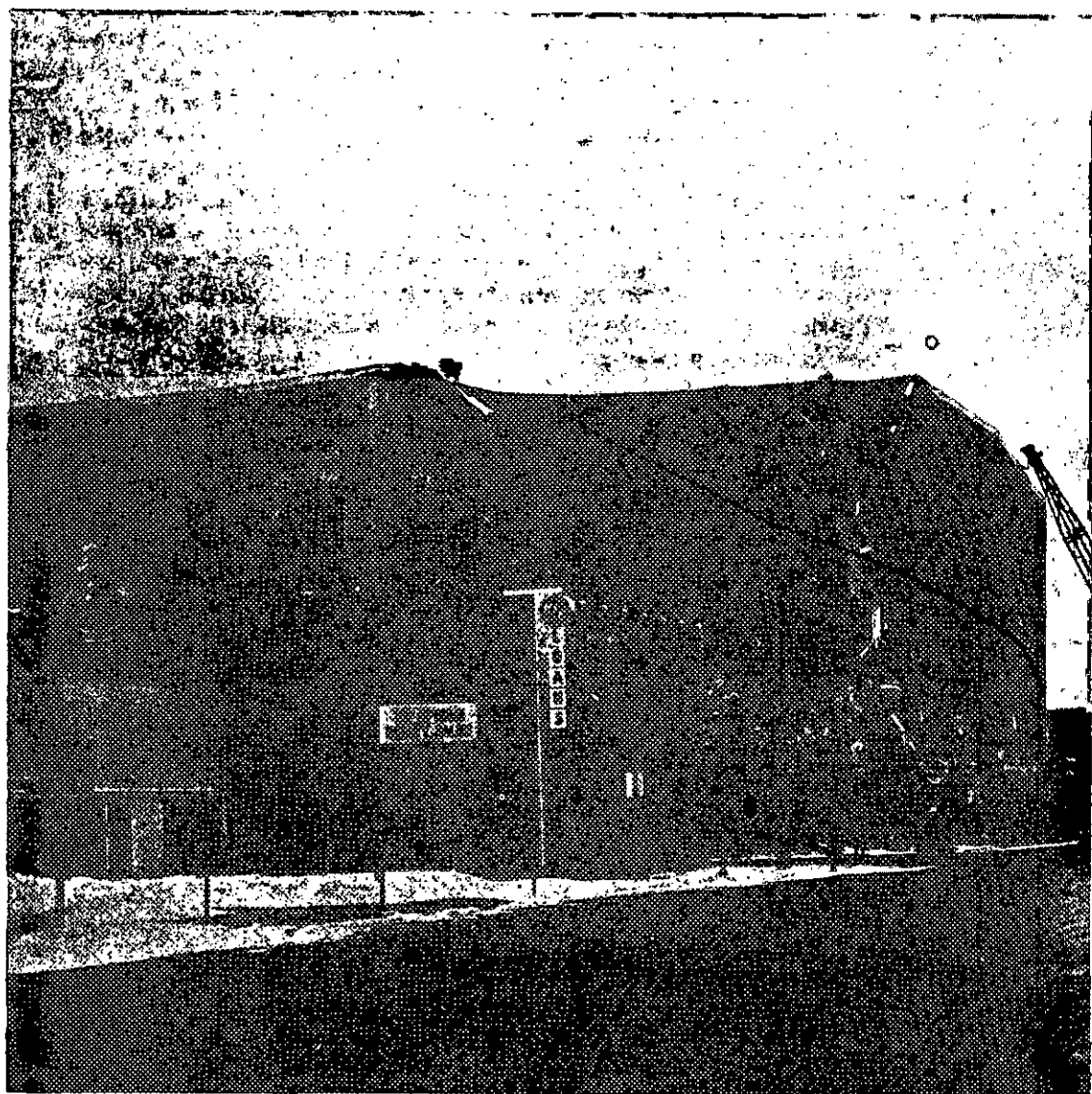
تحديد المركز السطحي
(بناء) تركيب الارض الداخلي
تكوين طبقات الارض

أسئلة

مراجع اضافية

خراب في مركز مدينة Anchorage ، الاسكا ، نتج عن زلزال الجمعة
العظيمة سنة ١٩٦٤ . ان الفروق في كمية الخراب في المباني المختلفة يشير الى
انه لابد من تغييرات في طريقة البناء الصورة بواسطة NOAA National Ocean Survey

17



انه من غير الممكن معرفة شئ عن باطن الارض بالمشاهدة المباشرة ، ولذا فان ما لدينا من معلومات عنها انما هي حصيلة تحليل انواع مختلفة من البيانات . وقد امكن بأساليب الرصد الفلكي الكشف عن حجم الارض والشكل الخارجي لسطحها ، والاستدلال على انه لا بد ان يكون باطن الارض مختلفا تماما عن سطحها . وبدراسة الارتجاجات او الذبذبات الناتجة عن الهزات الارضية امكن معرفة المزيد عن التركيبات الداخلية كما قدمت دراسة النيازك دليلا على التكوين الباطني للارض . وهكذا يرينا الحصول على البيانات من هذه التخصصات العديدة ان الجيولوجي ينبغي ان يكون واسع الدراسة كثير الدراية .

طبيعة الارض: شكلها وحجمها ووزنها

شكل الارض وحجمها

Shape and Size of the Earth

لقد استطاع اليونانيون وغيرهم من القدامى ملاحظة أمور هامة ، فقد لاحظوا ان ظل الارض يبدو دائريا على سطح القمر عند خسوفه وكذلك لاحظوا ان السفن المبحرة تبدو وكأنها تنزل جبلا حين ابتعادها ، فاستنتجوا بأن الارض كروية الشكل ، واعتقدوا بأن هذا لا بد ان يكون صحيحا لان الكرة هي اكثر الاشكال كمالات .

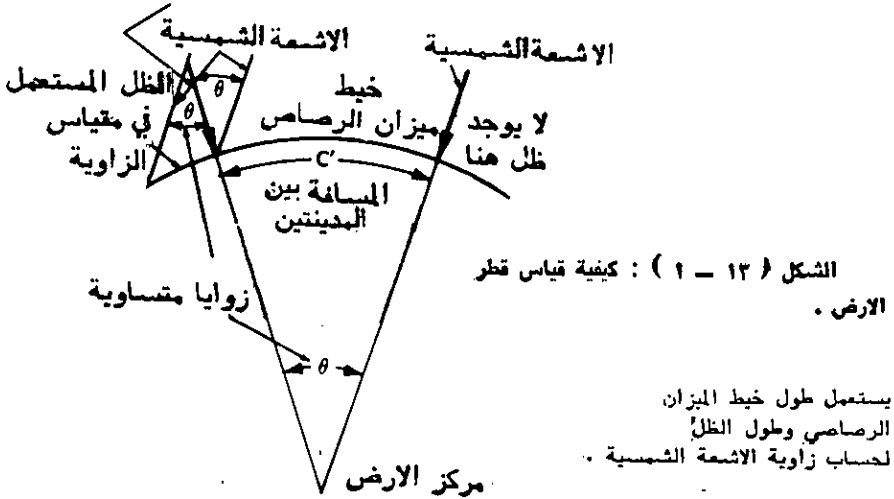
وفي حوالي عام ٢٣٥ قبل الميلاد مضى أراتستينس خطوة الى الامام بقياسه قطر الارض . وكانت طريقته بذلك بسيطة (انظر الشكل (١٣ - ١)) تعتمد على فرضيتين :

١ - كون الارض كروية الشكل .

٢ - اعتبار اشعة الشمس متوازية .

ولزمه لهذا الغرض اخذ القياسات في نقطتين مختلفتين في نفس الوقت لمعرفة الزاوية المحصورة بين اشعة الشمس وميزان البناء الرصاصي ، في المستوى الذي تحدده الاشعة والميزان .

وليكون مقدار الزاوية (قابلا للقياس) توجب عليه أن يجعل المسافة بين النقطتين كبيرة وأن تكون هذه المسافة معروفة لديه . فاختار للقيام بقياساته وقت الظهر حينما يكون الظل قصيرا جدا ، ويتجه نحو الشمال (لم يكن له وسيلة



اخرى ، كي يكون الزمن متوافقا) واختار مدينتين واقعتين على خط شمال جنوب واحد بحيث يقع الخط الواصل بينهما في سطح واحد مع اشعة الشمس والظلال ، ولهذا الغرض وقع اختياره على مدينة اسوان في يوم تكون الشمس فيه راسية وقت الظهر ، أما المدينة الاخرى فكانت الاسكندرية ، وحصل بذلك على زاوية مقدارها $7\frac{1}{2}$ درجة . فعمل بعد ذلك علم الهندسة البسيطة فسي حساب قطر الارض . وقد كان يعرف بأنه في الدائرة : $C = \pi D$

ولاي قوس في الدائرة

$$C' = \frac{\theta}{360} \pi D$$

$$D = \frac{C'}{\pi} \frac{360}{\theta} \quad \text{أو}$$

لقد كانت نتيجة قياساته تزيد ١٥٪ عن الحقيقة ونحن غير متأكدين من طول وحدة القياس عنده ، وهو ما يدل على دقة جيدة نسبيا في ذلك الزمن . وقسمت كانت الحسابات التي اجريت فيها بعد اقل دقة ، فقد اشارت الى أن الارض اصغر مما قدر ولذا حسب كولومبس انه وصل الى اسيا * .

لقد تبين نتيجة للقياسات الكثيرة التي اجريت خلال عدة قرون على أماكن متفرقة من الكرة الأرضية ، أن قطر الارض يقل كلما اقتربنا من القطبين مما يجعلنا نستنتج بأنها ليست كروية وانما شبه كروية ، فهي منتفخة عند خط الاستواء بسبب دوران الارض ولكن الفرق بين القطرين غير كبير .

· نصف قطر الارض عند خط الاسواء = ٣٨٨ ٣٧٨ ٦ مترا = ٣٩٦٣ ميل
نصف قطر الارض عند القطب = ٩١٢ ٣٥٦ ٦ مترا = ٣٩٥٠ ميل
الفرق بين القطرين = ٤٧٦ ٢١ مترا = ١٣٣ ميل

ولكن ادق المعلومات عن شكل الارض جاءت من مراقبتها بواسطة الاقمار الصناعية فحيث أن الجاذبية الأرضية تحدد شكل المدار للقمر الصناعي فإن الشكل العام للكتلة الأرضية يحدد بدوره مسار ذلك القمر الصناعي تماما وهو ما يمكن قياسه بواسطة الرادار مما جعل حساب قطر الارض ممكنا وكذلك معرفة طبيعتها شكلها . وقد عرفنا أخيرا بأن المقطع العرضي للارض عند خط الاستواء لا يكون دائريا

* قبل زمن كولومبس اجريت مثل هذه التجربة مرتين في العصور الإسلامية ، مرة باشراف محمد بن موسى الخوارزمي في زمن المأمون في القرن التاسع الميلادي ، ومرة بجهد شخصي قام به ابو الريحان البيروني في القرن الحادي عشر الميلادي . وفي كلتا المراتين اجريت التجربة في سهول المسند . وكانت النتيجة اقرب الى الحقيقة من نتيجة اراتستيس . فخطا كولومبس كان لسوء تقدير منه لا لنقص في العلم المتوافر في زمنه (المراجع) .

تماما كما تبين أن الجزء الجنوبي من الكرة الأرضية أكبر من الجزء الشمالي . ولكن هذه الاختلافات تعتبر بسيطة على أي حال .

Weight of the Earth

وزن الأرض

إن الحصول على وزن الأرض هو أصعب بكثير من تحديد شكلها العام . ولم يكن القيام بأي عمل من هذا القبيل ممكنا قبل أن يتمكن نيوتن عام ١٦٨٧ من استنتاج قوانينه التي تصف سلوك الأجسام عند السكون وفي حالة الحركة . واحد قوانين الحركة التي تحمل اسمه هو قانون الجذب العام (١) الذي يقول بأن كل جسم مادي في الكون يجذب أي جسم آخر بقوة تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما . وبهذا تمكن من توضيح حركة الكوكب في النظام الشمسي . وقد صاغ القانون رياضيا كما يلي :

$$F_{\text{gravitational}} = G \frac{m_1 m_2}{D^2}$$

وتمثل G ثابت الجذب العام (٢) . ولا بد من الإشارة هنا إلى أن هذا الثابت G يختلف عن تسارع الجاذبية (الذي يسمى عادة g ويساوي تقريبا ٣٢ قدم / الثانية^٢) أن الفضل يعود لنيوتن للتمييز بين الوزن أي القوة الواقعة على جسم ما وكتلته وهي خاصية ذاتية له وغير متغيرة . وقد كان ارسطوطاليس يعتقد بأن الأجسام الثقيلة تسقط إلى الأرض أسرع من الخفيفة، ثم أثبت غاليليو عمليا أن الجسمين يسقطان بنفس السرعة . ثم جاء نيوتن ليبهرهن على صحة آراء غاليليو . فصاغ قانونه الثاني كما يلي : يتناسب تسارع أي جسم طرديا مع القوة الواقعة عليه وعكسيا مع كتلته .

وتصاغ غالبا على النحو :

$$a = \frac{F}{m} \quad (\text{more commonly written } F = ma)$$

إن القوة F الواقعة على الجسم الساقط هي وزنه. ولأن بين الوزن والكتلة علاقة فإن مقدار F/m هو ثابت لكل الأجسام الساقطة في أي مكان ولهذا فإن تسارع هذه الأجسام يبقى بنفس النسبة . ففي حالة سقوط جسم ما ، فإن a

تمثل التسارع الناتج عن الجاذبية g ونحن نشير الى هذا بتسبب أن الأرض ليست كروية ، أي أن المسافة بين جميع النقط الواقعة على سطح الأرض ومركز الكتلة الأرضية ليست واحدة ، كما أن الوزن F لجسم ما يتغير تبعا للجاذبية من مكان لآخر . أي أن g (تسارع الجاذبية) تتغير تبعا لخطوط العرض وارتفاع سطح الأرض وربما كان علينا أخذ هذا في الاعتبار ونحن نحقق قياسات عالية في مجالات الرياضة .

ومما تجدر الإشارة اليه أنه رغما عن سهولة أخذ قياس للمعامل g لأي نقطة إلا أن هذا يختلف عن ثابت الجذب العام G وليس بينهما علاقة يمكننا من حساب قيمة G الفعلية إلا اذا عرفت الكتلة .

أن كل جسم على الأرض له وزن يساوي كتلته مضروبة بتسارع الجاذبية .

$$F_{\text{weight}} \cong mg \quad \text{أو :}$$

$$F = G \frac{mm_{\text{earth}}}{R_{\text{earth}}^2} \quad \text{وهذا الوزن يمثل قوة الجاذبية بين الأرض والجسم .}$$

$$F = mg = G \frac{mm_e}{R_e^2} \quad \text{وبالجمع نحصل على :}$$

$$m_e = \frac{gR_e^2}{G} \quad \text{وبالاختزال وإعادة الكتابة :}$$

ولا يمكن حل هذه المعادلة إلا اذا عرفنا كتلة الأرض m_e أو ثابت الجذب العام G .

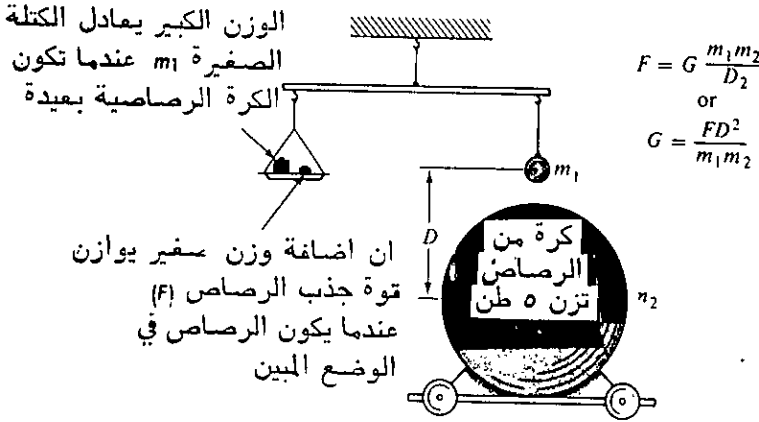
لقد تم حساب وزن الأرض بدقة عام ١٧٩٨ مباشرة بقياس القوة بين جسمين بحيث أصبح ممكنا حساب ثابت الجاذبية G (انظر الشكل (١٣ - ٢)) .

ولقد حسبت كتلة الأرض باستعماله العلاقة المشتقة سابقا $m_e = \frac{gR_e^2}{G}$ أن جميع المقادير الواردة في الجانب الأيسر من المعادلة معلومة بمبايع تكون كتلة الأرض تساوي 7×10^{21} طن تقريبا . وتجدر الإشارة هنا الى أن الباوند في الانجليزية يستعمل أحيانا كوحدة قياس للقوة عند البسّ و أحيانا للكتلة عند آخرين أما هنا فيستعمل كوحدة للكتلة .

توزيع الكتلة في الأرض

Distribution of Mass in the Earth

من النتائج المدهشة التي تنبأ بها نيوتن استنادا الى الحركة الفلكية ، أن



الشكل (١٣ - ٢) : تحديد ثابت الجاذبية . الشكل المرفق هو بياني والوزن المستعمل كان مختلفا من حيث أنه أكثر دقة .

معدل الوزن النوعي للأرض التي لها هذه الكتلة يساوي حوالي ٥.٥ أي أننا إذا أخذنا حجماً معيناً من الكتلة الأرضية لوجدنا وزنه يساوي خمس مرات ونصفاً من وزن مثل حجمه من الماء والغريب في هذا أن معدل كثافة الصخور التي على السطح يقل عن ثلاثة. مما يدل على أن كثافة الصخور في الأعماق تزيد كثيراً عن كثافة الصخور السطحية . ولتعليق هذا لا بد من الاعتقاد بأن تركيبها مختلف كلياً .

أن توزيع الكتلة في الأرض يحدد كيفية حركتها في الفضاء . وباستطاعة المرء أن يتصور كتلتين شكلهما كروي ، لهما حجم واحد ووزن واحد وتكوين واحد ، إلا أن الثقل في الكرة الثانية يتمركز حول النواة بينما الجزء الباقي حتى الغلاف الخارجي فارغ . بسبب ذلك اختلافاً في سلوكهما ميكانيكياً فمثلاً إذا جعلنا الكرتين تتدحرجان على سطح مائل فسنجد أن الكرة ذات الوزن الموزع على كل الجسم بالتساوي تنحدر بسرعة أبداً من الأخرى .

أما توزيع الكتلة في الأرض فإنه يتحدد بدراسة النظام الأرضي - القمري . فقوة جذب القمر للأرض عند مدارها يجعل محورها يتمايل ببطء شديد وهذه هي الحركة المسماة بمبادرة الاعتدالين (٣) . وتشبه ترنح جسم يتحرك ساقطاً على رأسه . وكلمة المبادرة (٤) هي اصطلاح يستخدم لوصف هذا النوع الخاص من

الحركة الترنحية . واما الاعتدال (٥) فهو اصطلاح يشير الى العلاقة بين موقع الارض والنجوم في يومين من السنة حيث يكون طول الليل والنهار واحدا ويلزم مرور ٧٣٥ ٢٥ سنة لتعود نقطة ما على المحور المترنح الى نفس الموقع الذي كانت فيه فلنيا ، ويعود الى هذا السبب ملاحظة الفلكيين المصريين القدماء ان نجما ، غير نجمنا القطبي ، كان يحتل موقع بولارس (٦) الحالي .

ولان مقدار الترنح الذي ينتج عن جذب القمر للارض يعتمد على توزيع الكتلة في الارض فلذا يمكن استخدامه لحساب هذا التوزيع ، وقد تبين بهذه الطريقة ان كثافة الارض تزيد في العمق عنها قرب السطح .

الهزات الارضية وعلم الزلازل

Earthquakes and seismology

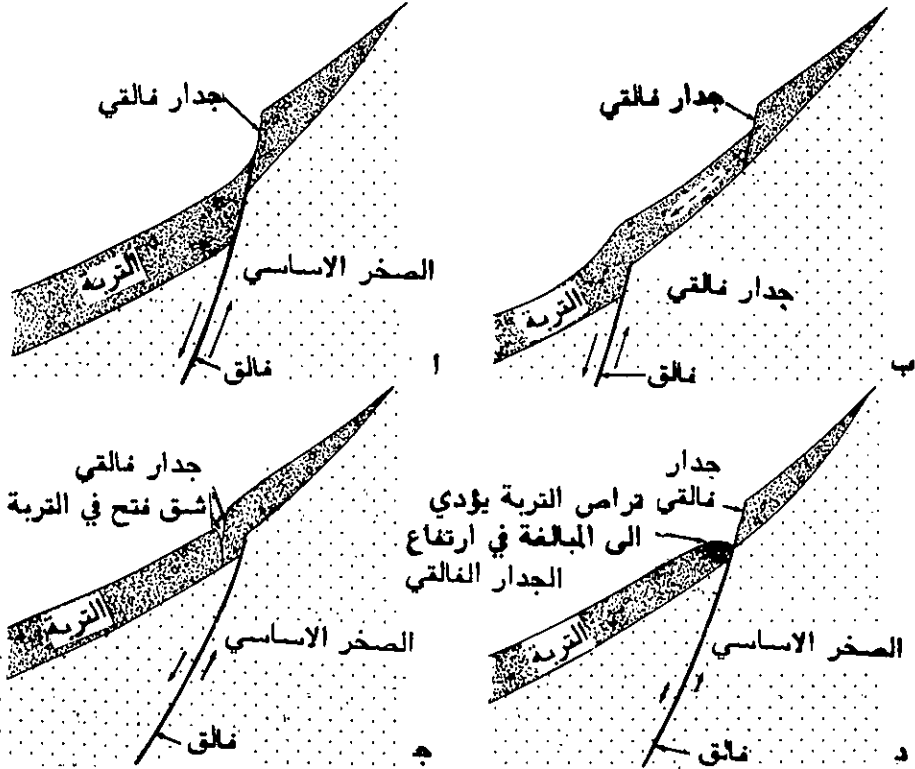
بالرغم من الدمار الذي تسببه الهزات الارضية ورغم شدة التخوف منها فانها تعطي معلومات مفيدة عن داخل الارض ، فدراسة الموجات التي تنجم عن الهزات الارضية في اعماق الارض على سبيل المثال تبين ان الارض ذات تركيب طبقي . وباضافة هذه المعلومات ، تلك التي حصلنا عليها بواسطة التنبؤات الفلكية عن توزيع الكتلة في الارض نستطيع ان نصنع نموذجا للارض وسنقوم اولا بدراسة اسباب الزلازل ومن ثم نبحث في انواع الارتجاجات الصادرة عنها . بعد ذلك سنأخذ في الاعتبار تأثير تلك الاهتزازات على السطح مع ما تسببه من دمار واخيرا سنبين كيف ان الزمن الذي تستغرقه في انتقالها يكشف عن تركيب اعماق الارض .

Cause of Earthquakes

سبب الزلازل

ان الاسباب النهائية لتكوين الفوالق والالتواءات ، والبراكين والزلازل وغيرها من العمليات الجيولوجية لا تزال غير معروفة الا ان بعض تلك الاسباب المباشرة معروفة فيما يتعلق ببعض الزلازل السطحية على الاقل . وهي

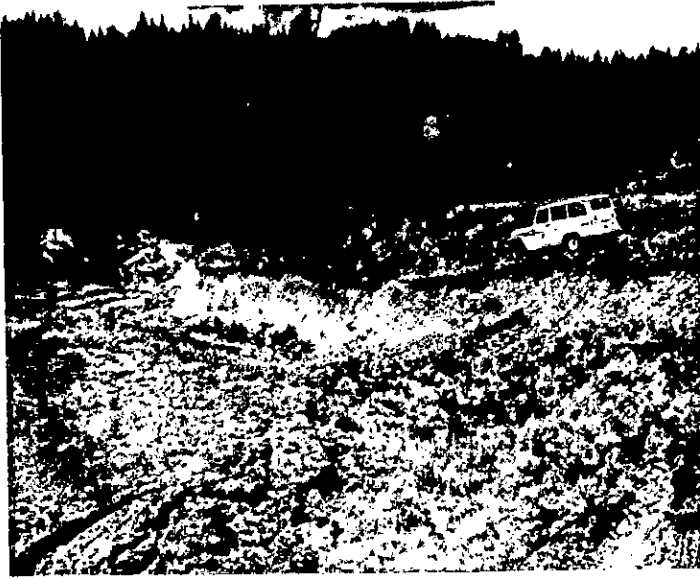
تعود لحدوث صدوع في صخور القشرة الأرضية حيث تنجم حركات الزلازل . ونعرف ذلك من تكون جدران مائتية (٨) وقت حدوث الزلازل . ومقدار الإزاحة التي تظهر على السطح ليس على الغالب دليلا دقيقا على مقدار الحركة فسي الاعماق ويتضح ذلك في الشكل (١٣ - ٣) (انظر كذلك الاشكال (١٣ - ٤) و



الشكل (١٣ - ٣) : انواع الجدران المائتية .

(١٣ - ٥) . وتصدر من هذه الحركات اهتزازات تعتبر حجر الاساس في دراسة علوم الزلازل . وسرعة انتقال هذه الاهتزازات سواء الناجمة عن حدوث زلازل أرضية أو عن التفجيرات الاصطناعية في الارض تقدم لنا الكثير من المعلومات عن انواع الصخور وتركيبها تحت السطح . وفي الفصل الخامس عشر سنبحث انواع الفوالق بالتفصيل وفي الفصل السابع عشر سنبحث اسباب تكون الفوالق .

ان الصدع هو واحد من العمليات الجيولوجية القليلة التي تحدث بمجساة وتصحبها كارثة وتحدث الزلازل الأرضية عندما تنطلق الصخور في حركة مفاجئة



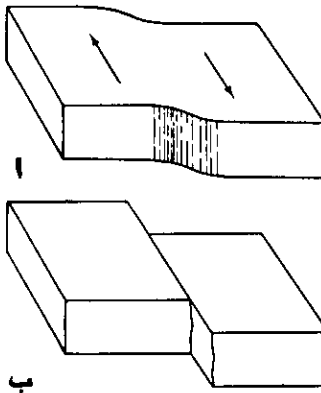
الشكل (١٣ - ٤) جدار ناتج عن زلزال بحيرة هيجان ، مونتانا ، عام ١٩٥٩ . لاحظ الهبوط الحاصل تحت الجدار .

بسبب التصدعات . ويبدو أن الحركة في باطن الأرض هي في واقع أمرها بطيئة . ولا يحدث التشقق (٨) إلا عندما تتجمع قوى تتجاوز حد مقاومة الصخور . ونعرف ذلك من الحركات البطيئة التي لوحظت على بعض الفوالق النشطة . وهو ما تمت ملاحظته أولا بعد زلزال عام ١٩٠٦ في سان فرانسيسكو على فالق سان اندرياس، وقد دلت الأرقام التي تجمعت بعد المسح الذي أجري على المنطقة قبل الزلزال وبعده على حركة أفقية مقدارها عشرون قدما وهو ما يتفق مع القيمة الحسابية للحركة البطيئة التي كانت معروفة سابقا ، أي أن جزءا من الطاقة كان يخزن باستمرار مما يتفق ونظرية الارتداد المرن القائلة بأن الزلازل تحدث عندما يصبح مخزون الطاقة المتجمعة بسبب التشويه المرن (٩) في الصخور على جانبي الفالق من القوة بحيث يغلب على مقاومة الاحتكاك على امتداد سطح الفالق (انظر الشكل (١٣ - ٦)) . وتوضح هذه النظرية التشوهات السطحية الناتجة عن معظم الزلازل وقد يؤدي احتكاك الكتل الصخرية على امتداد سطح الفالق إلى توقف حركتها ، فلا يتم تصريف الجهد القائم على ذلك السطح دفعة واحدة ، وهكذا فقد تم الكشف عن حركة زحف بطيئة على امتداد عدة فوالق في كاليفورنيا وهو ما يتفق كذلك ونظرية الارتداد

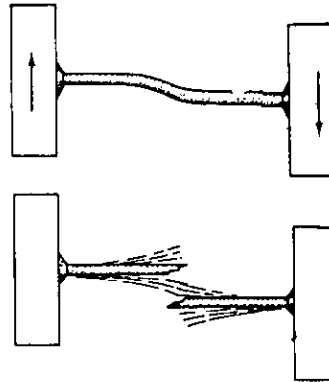


الشكل (١٣ - ٥) : تصدع تمديدي في الصخور البركانية على الجانب الشرقي من السيرانيفادا . انه يمكن النزول ٥٥ قدما تحت السطح في داخل هذا الفالق الذي يعتقد بانسه نشأ عن زلزال حدث قبل التاريخ . وفي هذه المنطقة يوجد الكثير من هذا النوع حيث يصل ارتفاع الجدار الى ٥٠ قدما .

تشويه الصخور



تشويه قضيب مرن



الشكل (١٣ - ٦) : منشأ الزلازل . على اليسار يظهر مقطع من القشرة الارضية وعلى اليمين يبدو قضيب مرن . في (ا) نرى تشويها في القشرة بطينا ناتجا عن قوى داخلية . في (ب) يحدث كسر وتصدع عندما تتجاوز القوة المؤثرة على الصخر مقاومته ، مما يؤدي الى ارتجاجات زلزالية . وتحصل الزلازل على الفوالق القديمة كنتيجة لتجاوز قوة الاحتكاك على امتداد سطح الكسر القديم .

المرن (انظر الشكل (١٣-٨) والجدول (١٣-١) . ففي عدة أماكن تتقاطع هذه الفوالق مع المباني والطرق والسكك الحديدية . فنتجت أضرار جسيمة ولهذا أنشئت عدة محطات لتسجيل الحركة ومراقبتها في مثل تلك المناطق . وقد رصدت الحركة في بعض الأمكنة كما يلي :

٦ - بوسات في محلات ويدهاوس على امتداد صدع هايوارد منذ عام ١٩٢١ (انظر الشكل (١٣-٧)) .

٨ - بوسات في سكة حديد نايلر (١٠) على امتداد فائق هايوارد منذ عام ١٩١٠ .

— ٢ ٣/٤ بوصة في ملعب جامعة بيركلي بكليفورنيا منذ عام ١٩٤٨ .

— ٣ ١/٤ بوصة خلال سبعة أعوام ونصف في مصنع خمور هولستر على فائق سان اندرياس .

ويبدو أن الحركة تأتي على دفعات تبلغ جزءا صغيرا من البوصة تعقبها فترات من أسابيع أو شهور تتوقف الحركة خلالها .

أن نظرية الارتداد المرن تفسر إلى حد ما الزلازل السطحية ، وهي التي

منشؤها في القشرة الأرضية وقد يختلف الوضع تماما فيما يتعلق بالزلازل العميقة حيث أن الضغط في العمق يزيد من فعالية عامل الاحتكاك على سطح الفالق ويجعلها أكبر من قوة الصخور فتصبح الحركة عندئذ غير ممكنة أو حتى مستحيلة . ولهذا استلزم وضع نظام يفسر مثل هذه الصدوع العميقة حيث أن نظريسة الارتداد المرن تصبح غير صالحة في مثل هذه الحالة . ويعتمد التفسير على أن الزيادة في الضغط تتسبب في إعادة تبلور جزيئات الصخور حيث تزداد كثافة المعادن فينتقلص حجم الصخور الأصلي مما يؤدي إلى حدوث انهيارات في العمق محدثة بذلك الزلازل .

Wave Types

أنواع الأمواج الاهتزازية

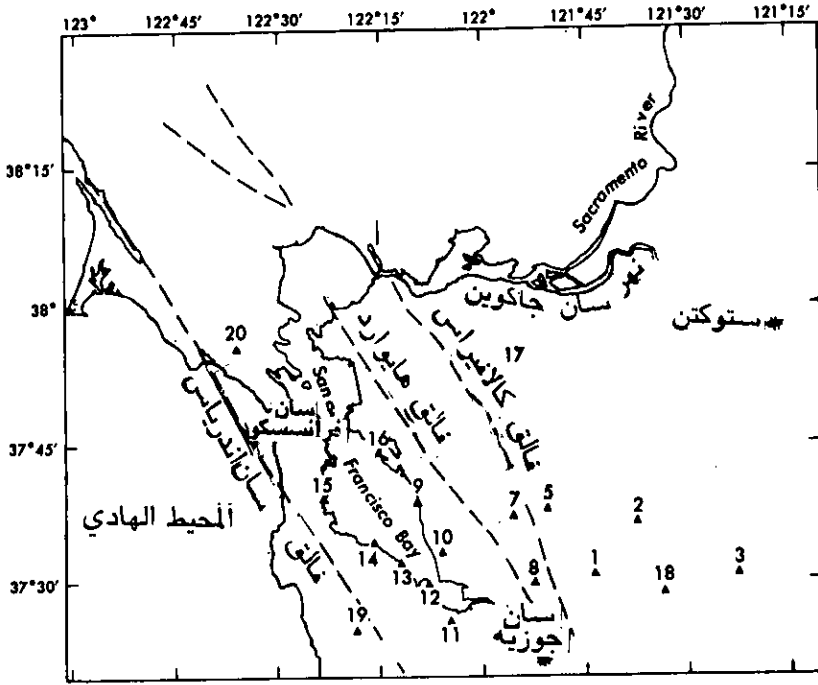
يستعمل لتسجيل الزلازل جهاز يسمى راصد الزلازل (السيزموجراف) (انظر الشكل (١٣-٩) و (١٣-١٠)) وهناك ثلاثة أنواع من الأمواج تنشرها الهزة الأرضية (انظر الشكل (١٣-١١)) وهي :



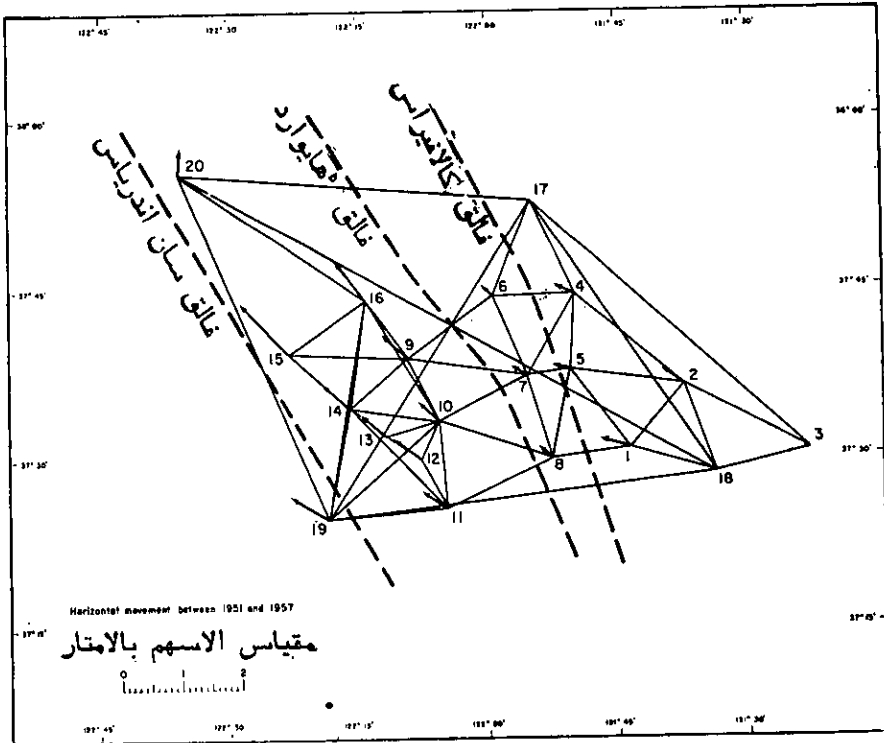
الشكل (١٣ - ٧) :
الدمار الناتج عن مرور
صدع في بناية تجارية في
مدينة نيلز بكاليفورنيا
ونرى أن الحائط الذي
كان أصلا مستويا قد
أصبح ملتويا بمقدار عدة
انشات عند نهاية الشباك
الثاني .

الجدول (١٣ - ١) : معدل الحركة السنوية على طول خالق سان اندرياس
والفوالق المرافقة .

معدل الحركة السنوية (سم)	تاريخ المسح	المكان	
		طول	عرض
١ر٣	٦٠ - ٣٨ - ١٩٣٠	١٢٢ر٨	٣٨ر١
٢ر٥	٦٣ - ٥٧ - ١٩٥١	١٢٢ر٠	٣٧ر٦
١ر٦	٦٢ - ٥١ - ١٩٣٠	١٢١ر٥	٣٦ر٨
١ر٥	٦٠ - ٥٩ - ١٩٥٧	١٢١ر٤	٣٦ر٤
٣ر٠	٦٥ - ٦٣ - ٦٢ - ٦١ ٦٣ - ١٩٤٤	١٢٠ر٩	٣٥ر٧
٠ر٣	٦٢ - ٥١ - ١٩٣٢	١٢٠ر٣	٣٥ر٠
صفر	٥٩ - ٤٩ - ١٩٣٣	١١٩ر٤	٣٤ر٨
صفر	٤٩ - ١٩٣٨	١١٨ر٨	٣٤ر٥
صفر	٥٨ - ٤٧ - ١٩٣٨	١١٨ر١	٣٤ر٣
صفر	٦٣ - ١٩٤٩	١١٧ر٥	٣٤ر٣
٣ر٠ *	٥٤ - ٤١ - ١٩٣٥	١١٥ر٥	٣٢ر٨

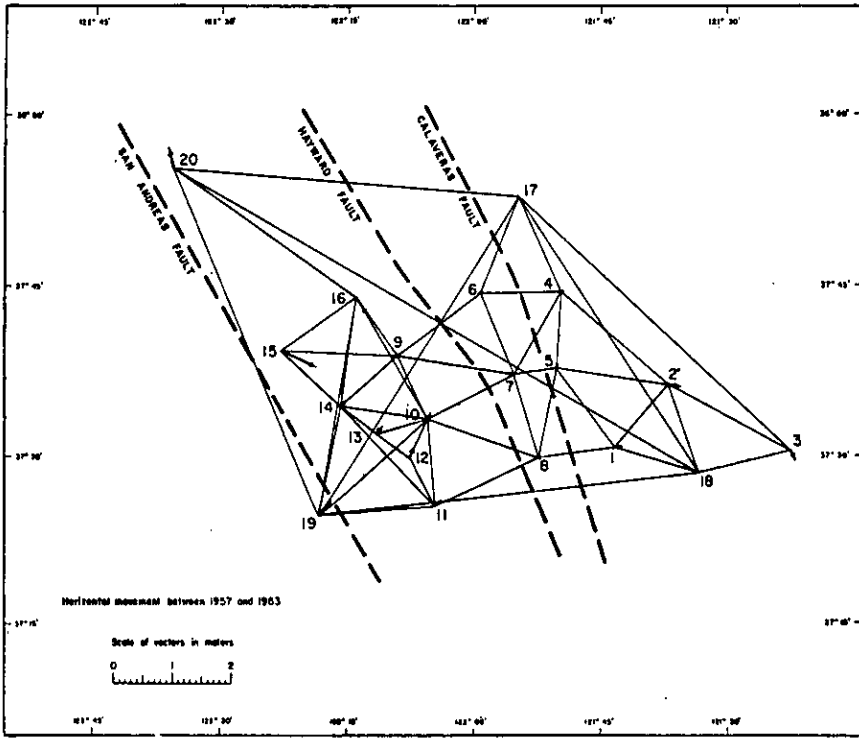


١ - خريطة الموقع

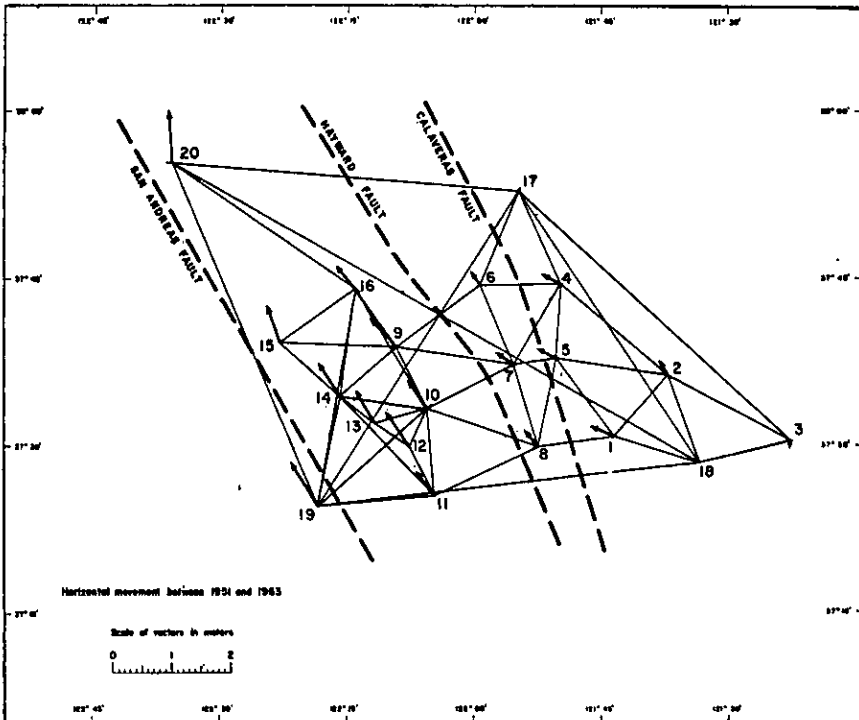


ب - حركة افقية من ١٩٥١ - ١٩٥٧

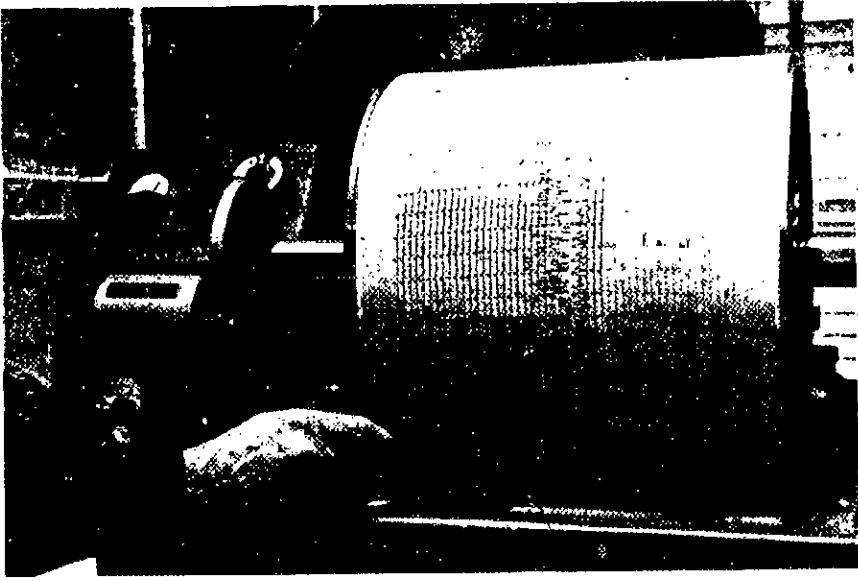
الشكل (٨ - ١٣) : حركات افقية حديثة في منطقة خليج سان فرانسيسكو حسبما ظهر في المسح



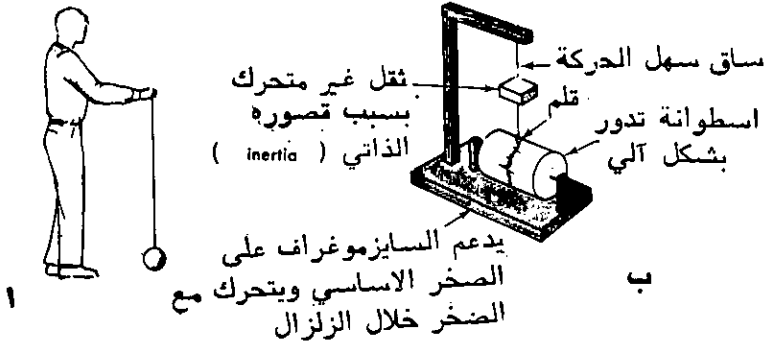
ج - حركة أفقية من ١٩٥٧ - ١٩٦٣



د - المقدار الكلي للزحاحة من ١٩٥١ - ١٩٦٣



الشكل (١٢ - ٩) : سايزموغرافة طويل المدى يبين تسجيل زلزال قرب فرمودزا في مارس ١٩٦٦ .



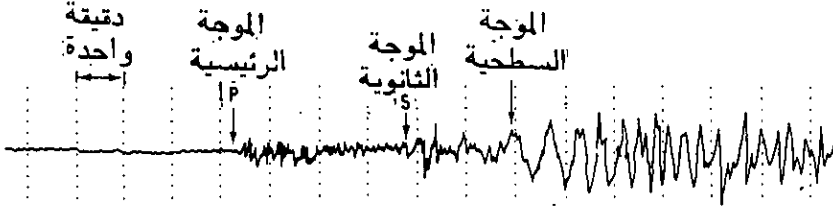
الشكل (١٣ - ١٠) : كيفية عمل السايزموغراف :

١ - يبين الوزن المعلق بخطط كيفية عمل السايزموغراف . فاذا تحركت اليد بسرعة فان الوزن يرقى ثابتا .

ب - في هذا الموديل نجد السايزموغراف مثبتا على الصخر الاساسي ، ويتحرك عندما تهتز الارض . وبما ان الثقل يبقى ثابتا فان القلم يسجل الحركة النسبية بين ورق التسجيل الذي يتحرك مع الصخر الاساسي والنقل الذي لا يتحرك . ان السايزموغراف مصمم ليتجاوب مع الحركة باتجاه واحد . فبدلا من استخدام بندول فان الانتقال تطبق كالأبواب ، وبذا لا يستجيب الا مع الحركة الافقية في زاوية قائمة على السطح المرفوع عليه الثقل .

١ — الامواج الرئيسية (١١) : وهي انضغاطية ، وتعتبر رئيسية لانها اسرع الموجات انتقالا ولذلك فهي اول ما يصل الى محطة الرصد الزلزالي . وهي انضغاطية لانها تتذبذب بالتضاغط والتخلخل .

٢ — الامواج الثانوية (١٢) : وسميت كذلك لانها تصل محطة الرصد بعد



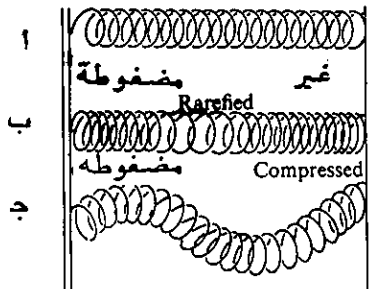
الشكل (١١ - ١٢) : سجل ساييزموغرافي يبين الامواج الثلاثة .

الامواج الرئيسية ، وهي ذات طابع ارتجاعي لانها ترتج من جانب لآخر .

٣ — الامواج السطحية (١٣) : وهي بطيئة الحركة وتشبه في طبيعتها تلك

الناتجة عن رمي حجر في بركة ماء مثلا .

ان الاختلاف الرئيسي بين هذه الموجات يكمن في كيفية انتشارها . وتنتشر الطاقة الناتجة عن حدوث زلزال في مكان ما من المصدر الى جميع الاتجاهات ويهمننا منها تلك الاشعة التي تصل الى مكان واحد محدد . ومن السهل توضيح كيفية انتقال الامواج الرئيسية . فلو جننا بزنبرك وضغطناه ثم اطلقناه فجأة لوجدنا ان موجة تكونت ثم انطلقت متحركة على امتداد الزنبك تدريجياً تضغطه حيناً وتشدّه حيناً اخر بينما تستطيع رؤية حركة الموجة الثانوية عندما نزيح احد اطراف الزنبك المثبتين ثم نطلقه عندئذ تنتقل موجة عبر الزنبك في ازاوية وارتداد محركة اياه من طرف الى اخر . (انظر الشكل (١٢-١٣)) ويمكننا

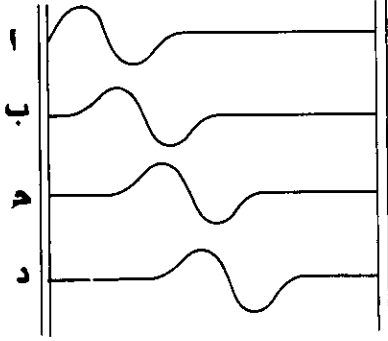


الشكل (١٢ - ١٣) : انواع الامواج :

- (ا) — زنبك مشدود بين طرفيه . (ب) — موجة دفع تبين الانضغاط والتخلخل .
- (ج) — موجة ارتجاجية .

ايضاح هذه الحركة بواسطة الحبل كما في الشكل (١٣-١٣) . اما الامواج السطحية فهي عبارة عن حركة تسبب في نشوئها وصول الامواج الرئيسية والثانوية الى السطح .

ان انتشار الطاقة بواسطة الامواج السطحية يعتبر أكثر تعقيدا مما سبق لان هناك نوعين من الامواج يلعبان دورا هاما في هذه العملية وهو ما لا يستطيع مناقشته هنا دون الرجوع الى ما ذكرناه انفا عن الامواج المائية المشابهة وكيفية عملها . والحقيقة أن التسجيلات السيزموغرافية النموذجية تحتوي على أكثر من ثلاثة امواج لانها عادة تنعكس الى السطح عندما تصل سطوح الطبقات في داخل الارض .



الشكل (١٣ - ١٣) : حبل بين عند
تجربه كيفية نشوء الموجة الثانوية د
(أ) - بين بداية الحركة (ب) و (ج) و (د)
الحركة فيما بعد .

Damage

الدمار الذي تسببه الزلازل

صحيح ان الامواج الرئيسية والثانوية تتذبذب بسرعة ولكن حركتها تبقى صغيرة وهكذا يكون تأثيرها التدميري على المنشآت بسيطا ، في حين تكون السعة العامودية للامواج السطحية اكبر ، وحركتها اسرع ، فعند حدوث زلازل في مكان ما تسبب هذه خطرا مباشرا ومدمرا . وهو من السهل فهمه فعندما يتحرك جزء من بناية او منشأة عدة بوصات في اتجاه معين ويتحرك جزء اخر من المنشأة في اتجاه مغاير ، لا بد وأن يتصدع البناء وينهار . ولهذا لا بد عند تصميم الابنية المقاومة للزلازل من جعلها مرنة بحيث لا تؤدي مثل تلك الحركات الى دمارها . ولوقوع البناء تأثيره على تحمل مثل هذه الابنية لحركة الامواج . فنحن نجد بشكل عام ان الابنية القائمة على الصخور الاساسية هي اقل تأثرا بالامواج الزلزالية من تلك المنشأة على قاعدة سريعة التشويه وهشة ، ونحن اذ نتكلم عن

ذلك نعني به الدمار الناتج عن الحركات التمجعية والتي تختلف عن الحركات المؤدية الى حدوث فوالق في الارض وعلى سطحها وما يتبع ذلك من دمار محقق. بالاضافة الى ذلك ، هناك الكثير من الخسائر الناتجة عن الانهيارات والانزلاقات الارضية نتيجة حدوث الزلازل . وفي المدن تكون الخسائر كبيرة بسبب حدوث الحرائق نتيجة قطع الاسلاك الكهربائية وكسر الانابيب المائية والاتصالات السلكية ، فتصعب مكافحة تلك الحرائق .

ومما لا شك فيه ان لطول المدة الزمنية التي تهتز خلالها الارض اثرا كبيرا على مقدار تدمير الابنية ، فبعض الزلازل تدوم مدة اطول من غيرها . الا اننا لا نملك الا اليسير من المعلومات عن ذلك . وقد اعتقد شهود العيان لزلزال الجمعة العظيمة في الاسكا عام ١٩٦٤ ان مدته تتراوح بين دقيقة وأربع دقائق .

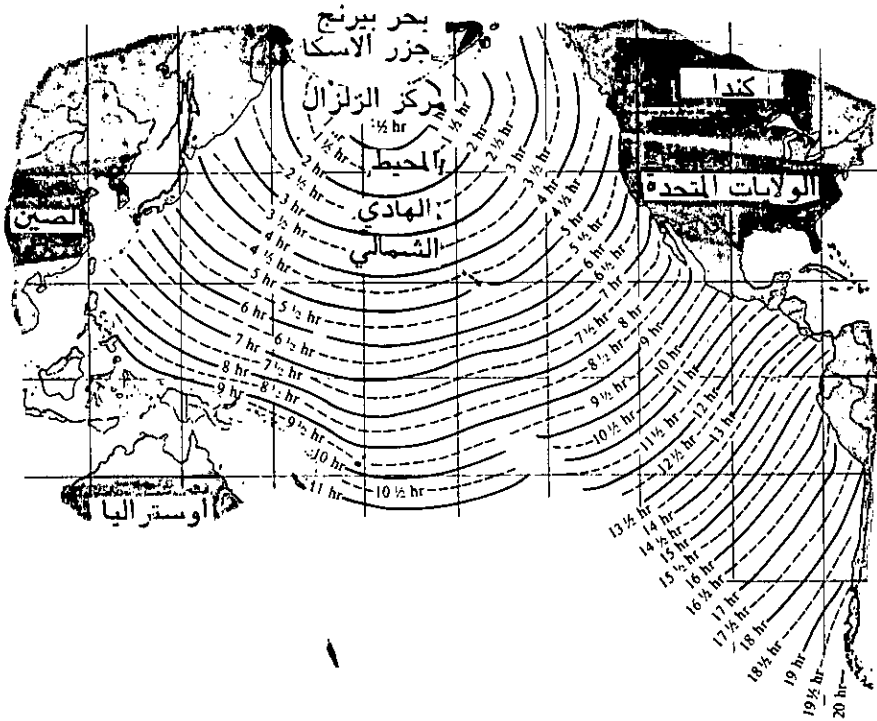
ومن اسباب التخوف من الزلازل خطر سقوط الانسان او الكائنات الحية الاخرى في الشقوق والفوالق الناجمة عنها ، كما تروى بعض القصص الخيالية . ويبين الشكل (١٣ — ٣) كيف تنشأ الشقوق الصغيرة بسبب الزلازل . ونعرف حادثتين سجل فيهما حدوث وفيات لهذا السبب . وقعت احدهما ابان زلزلة في اليابان اذ سقطت امرأة في احد هذه الشقوق السطحية وحدثت الاخرى اثناء زلزال سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦ اذ سقطت بقرة وطمرت حطام الصخور قبل ان تتمكن من الخروج .

/

أما **الامواج البحرية الزلزالية** ^(١٤) فانها تسبب دمارا كبيرا ، وتسمى تلك الامواج بامواج المد ^(١٥) غير ان هذه التسمية غير مرضية لانه ليس هناك اية علاقة بين هذا النوع من الامواج وتلك الصادرة عن المد الطبيعي ، ولهذا يشيع استعمال الكلمة اليابانية تسونامي* لوصف مثل هذا النوع من الامواج مع ان ترجمتها الحرفية تعني ايضا امواج المد ولذا نفضل اعطاءها اسم الامواج البحرية الزلزالية فهو اكثر تعبيرا .

وتنشأ هذه الامواج نتيجة حدوث فوالق او زلازل في قاع البحر فتظهر

أمواج هائلة ذات تأثير مدمر على المنشآت الساحلية ، وتبدأ حركة الأمواج عادة بتراجع المياه عن الشاطئ إلى البحر ثم تندفع نحو الشاطئ بعد ذلك بدقائق أمواج هائلة قد يصل ارتفاع بعضها إلى ٢٠٠ قدم وقد أصبح من الممكن حديثا رصد مثل هذه الزلازل البحرية وانذار الجهات المعنية في الوقت المناسب للتخفيف من خطر الأمواج البحرية الناجمة عنها على الحياة والمنشآت . وتصل سرعة الأمواج إلى ٤٥٠ ميلا في الساعة وقد يصل تأثيرها إلى اليرقات المتعاقبة من المحيط (انظر الشكل (١٣ - ١٤)) .



الشكل (١٣ - ١٤) : تبين هذه الخريطة زمن انتقال الأمواج السيزمية البحرية بالساعة حتى تصل معظم اطراف المحيط الهادي بدءا بزلزال حدث في جزر الاسكا .

Size of Earthquakes

حجم الزلازل

يمكن قياس الزلازل بطرق مختلفة ، منها مثلا قياس مقدار الازاحة على السطح مع الأخذ بالاعتبار أن الازاحة على السطح قد تختلف في مقدارها نحو العمق (انظر الشكل (١٣ - ٣)) وغالبا ما تحدث الزلازل بدون اراحة .

الا انه تجدر الاشارة هنا الى ان اقصى ازاحة سجلت حتى الان هي تلك التي سجلت في الاسكا عام ١٨٩٩ ووصلت الى ٤٧ قدما واربعة بوصات وكذلك ذلك الارتفاع الذي اصاب اجزاء من قاع البحر مصاحبا زلزال الجمعة العظيمة في الاسكا عام ١٩٦٤ وقد بلغ خمسين قدما .

وهناك طريقة اخرى لمعرفة قوة الزلزال تأخذ بعين الاعتبار المساحة السطحية للمنطقة المتضررة التي حصلت فيها الازاحة ففي زلزال الجمعة العظيمة بالاسكا، الذي ذكرناه ايضا بلغت تلك المساحة حوالي ٧٧.٠٠٠ ميل مربع (انظر الشكل (١٣ - ١٥)) وهو اوسع انتشار لهذه ارضية تسجل تاريخيا حتى بالرغم من أن زلزال سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦ يعتبر في حد ذاته حدثا زلزاليا عظيما ايضا، اذ تحرك جزء من الارض دفعة واحدة لمسافة معينة على امتداد شريط بلغ طوله ٢.٥ اميال وذلك على سطح فالق سان اندرياس الذي يبلغ طوله الاجمالي حوالي ٦٠٠ ميل .

ولا تسمح اي من طرق قياس الزلازل هذه من عمل مقارنة مباشرة بين الزلازل ، ولا يوجد بينها ما يعتبر عن الزلازل الكثيرة التي لا تتسبج عنها صدوع او ازاحة. وللتغلب على هذه المصاعب ابتكر علماء الزلازل مقياسا لشدة الزلازل ، وفيه تم تقدير الخسائر والاضرار التي تصيب المباني والمنشآت ووضعها في فئات ضمن جدول عام . (انظر الجدول (١٣ - ٢)) .

ان تقدير شدة الزلازل بناء على شدة اضرارها وكذلك على البيانات المقدمة من شهود العيان يعتبر في حد ذاته تقييما شخصيا ، الا ان هذا النظام أصبح ذا فائدة في هذا المضمار والمشكلة الرئيسية هي أن تأثير الزلازل يأخذ عادة طابعا محليا ويعتمد لذلك في شدته وما يصحبه من تدمير على طبيعة الجيولوجيا السطحية في مكان حدوثه (انظر الشكل (١٣ - ١٦)) . وفي العادة يجري وضع خرائط تمثل شدة الزلازل بارسال بطاقات للسكان الذين يقطنون المناطق المصابة ويطلب منهم وصف تأثير الزلزال على السطح . وبهذه الطريقة يتم تعيين موقع مركز الزلزال السطحي (١٦) . وتجدر الاشارة هنا الى أن هذه الوسيلة تمكن من المقارنة المباشرة لتأثير الزلازل على السطح فقط ولهذا فان تأثير الزلازل العميقة المركز يكون غالبا خفيفا على السطح .



الشكل (١٢ - ١٥) : خريطة الاسكا تظهر المنطقة ذات التغيير في سطح الارتفاع .

أما مقدار الطاقة التي تنطلق مع الزلزال فان لها مقياسا يسمى اتساع الزلزال (١٧) وهذا هو المعنى عندما تذكر ارقاما عن شدة الزلازل في الصحف، والاذاعات بعد حدوث الزلزال مباشرة . ويتحدد الحجم الزلزالي عادة بمقدار الحركة على وحدة قياس زلزالية بحيث تستخرج العلاقة القائمة بين المسافة الواقعة بين جهاز القياس ومكان حدوث الزلزال وبشكل عام تظهر بيانات الرصد الاولى اختلافات طفيفة في الاتساع الزلزالي ، عن محطات الرصد المختلفة . ويحدث ذلك لان وحدة القياس الزلزالية تتأثر بطبيعة القاعدة التي تثبت عليها كما ان هناك سببا اخر يؤدي الى بعض التشكك في نتائج القياسات يكمن في اننا نعتمد في تقدير حجم الزلزال على الامواج ذات المدى الواسع . ولكن هذه تمثل الامواج السطحية في معظم الزلازل .

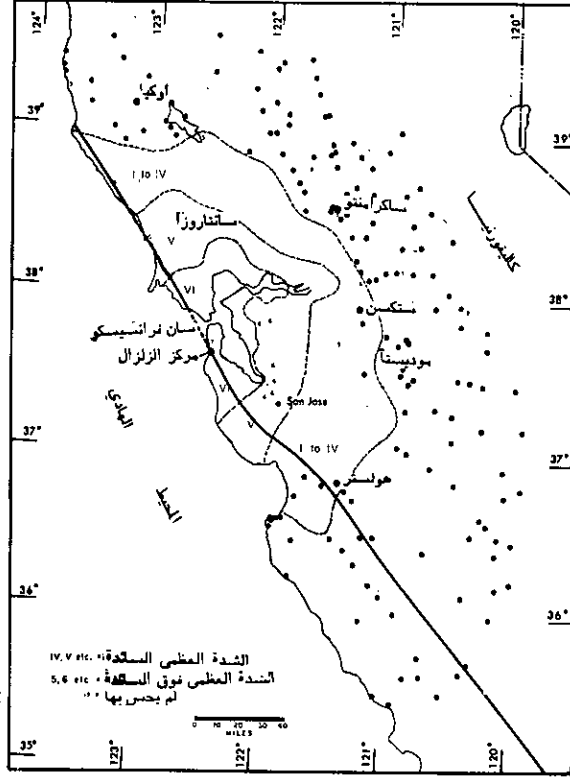
وحيث انه ليس للزلازل العميقة امواج سطحية فانه لا بد من ابتكار مقياس لاختلاف حجم الزلازل العميقة ويعتمد الامواج الاساسية والثانوية قاعدة له . ولهذا

فان العلاقة القائمة بين هذين المقياسين تحتوي على بعض الفوارق .
اما المقياس الشائع الاستعمال حاليا فهو مقياس رشتير وان اكبر حجم سجل
عليه هو ٨.٩ درجة ويشعر الانسان بالزلزلة عندما تكون قوتها اكثر من درجتين .
ان قوة زلزال سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦ بلغت ٨.٣ درجة ، وان زيادة وحدة
واحدة على هذا المقياس ، مثلا من ٦.٥ الى ٧.٥ ، تعني ازدياد مقدار الطاقة
المنطلقة الى حوالي ٣١ ضعفا . كما تتضاعف قوة الارتجاجات المسجلة في محطة
بعيدة الى حوالي عشر مرات .
ان عدد الهزات الارضية التي تحدث في الارض هو اكثر بكثير من تلك
التي يعلن عنها في الصحف لنتائجها المدمرة . ومع ان عدد الهزات التي يشعر
بها الانسان قد يصل الى المليون الا ان معظم الطاقة الزلزالية الارضية تنطلق
من خلال عدد قليل من الهزات القوية .

Examples

بعض الامثلة على الكوارث الزلزالية

في الساعة ٥.٣٦ من بعد ظهر يوم الجمعة العظيمة الموافق ٢٧ اذار
١٩٦٤ حدث زلزال كبير في الاسكا . وكان مركزه في الوسط الجنوبي من
الاسكا وبلغت قوته ٨.٤ الى ٨.٦ درجة وهكذا فان الطاقة المنبعثة هنا
تساوي ضعف تلك التي انطلقت من زلزال سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦ ،
الذي بلغت قوته ٨.٣ درجة على مقياس رشتير . ونرى في الشكل ١٣-١٥ ،
المساحة الشاسعة من الارض التي تغير مستوى ارتفاعها كنتيجة لذلك
ونرى منه كذلك الموقع السطحي للمركز (١٨) حيث حصلت الهزة الرئيسية.
ونرى حوله منطقة الارتجاجات التي تبعثها وهي تشير غالبا الى حركة
فالقية تحت سطحية حدثت في تلك المنطقة تقريبا . والارتجاجات التي
تعقب الزلزال تعتبر ظاهرة عامة بعد حدوث الزلازل الكبيرة ويعتقد انها
نتيجة عن اعادة التوازن الذي اختل بحدوث الحركة الرئيسية في العمق .
وفي كثير من الحالات يكون لهذه اثارها المدمرة ايضا . وقد ادى تكوين
الامواج الزلزالية البحرية بدوره الى تدمير بلغ اثره الى سواحل كاليفورنيا .
كما انه رصد في اليابان ايضا وقد نتج عن الارتجاجات حدوث انزلاقات آتت



الشكل (١٢ - ١٦) : خريطة تبين شدة زلزال ٢٢ مارس ١٩٥٧ حسبما تم تسجيله .
ويبدو أن الدركة حصلت على إمتداد فائق السان أندرياس الذي يظهر هنا أيضا .

الى تدمير المنشآت القائمة على الشواطئ بشكل خاص ومنها بالدرجة الاولى تلك التي اقيمت على قاعدة غير صلبة وترى في الاشكال (٧-١٤)، (٧-١٥) وكذلك (٧-١٦) أمثلة على ذلك . وفي تقدير جيولوجي سابق ورد أن الطين المشارك في تكوين الصخور في المنطقة لعب دورا رئيسيا في حدوث الانزلاقات المذكورة .

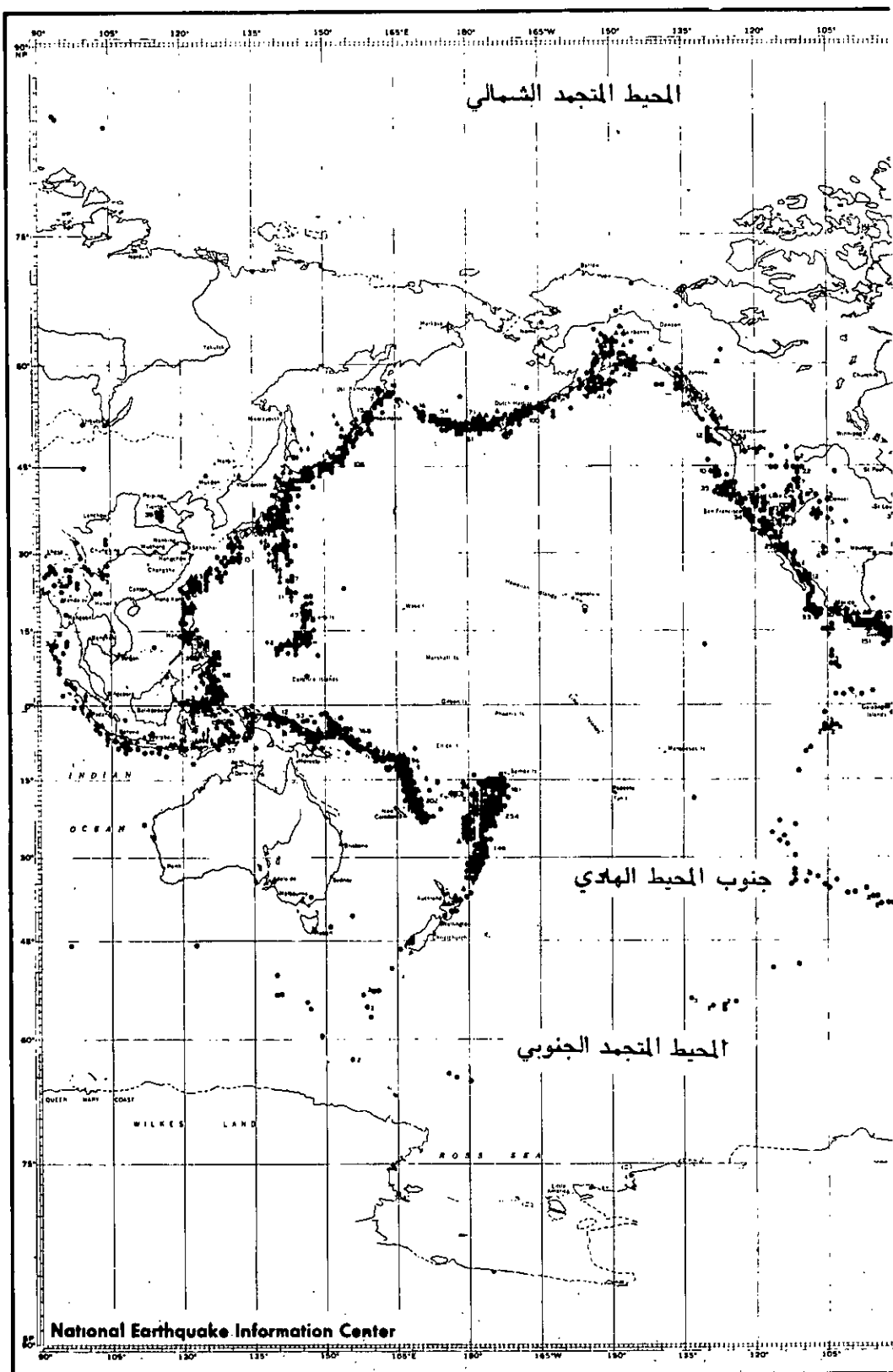
٢ - في اليوم السابع عشر من اغسطس ١٩٥٩ حدث زلزال قريب من السطح، في منطقة بحيرة هيجان في ولاية مونتانا الامريكية قوته ٧ درجة . وقد

نتج عن ذلك الزلازل تكوين فالقين متوازيين تقريبا طول كل منهما سبعة اميال وبحركة راسية تقارب العشرين قدما . انظر الشكل (١٣-٤) .
وقد ادت تلك الحركة الى تكوين انشاءات واضحة المعالم وتغيرات حصلت في شاطئ البحيرة وقد تأثرت منطقة الحقائق المسماة بمنطقة يلوستون القومي (١٩) ايضا بذلك مباشرة لانها قريبة منها ، فازداد نشاط بعض الينابيع الحارة مؤقتا . اما التدمير الرئيسي هنا فقد نتج عن نشوء انزلاق صخري كبير . وقد سقطت هذه الصخور لسوء الحظ على مخيم قائم هناك وطمرت تحتها عددا من الناس (انظر الشكل (٧-١١))
وسقطت تلك الصخور في مجرى نهر ماديسون مكونة سدا ومتسببة بذلك في مشكلة . حيث انه كان ممكنا ان تمتليء البحيرة فتجرؤها متسببة في حدوث فيضان مدمر . وتجنبنا لذلك تم شق قناة في تلك التراكمات المنهارة لتصريف المياه .

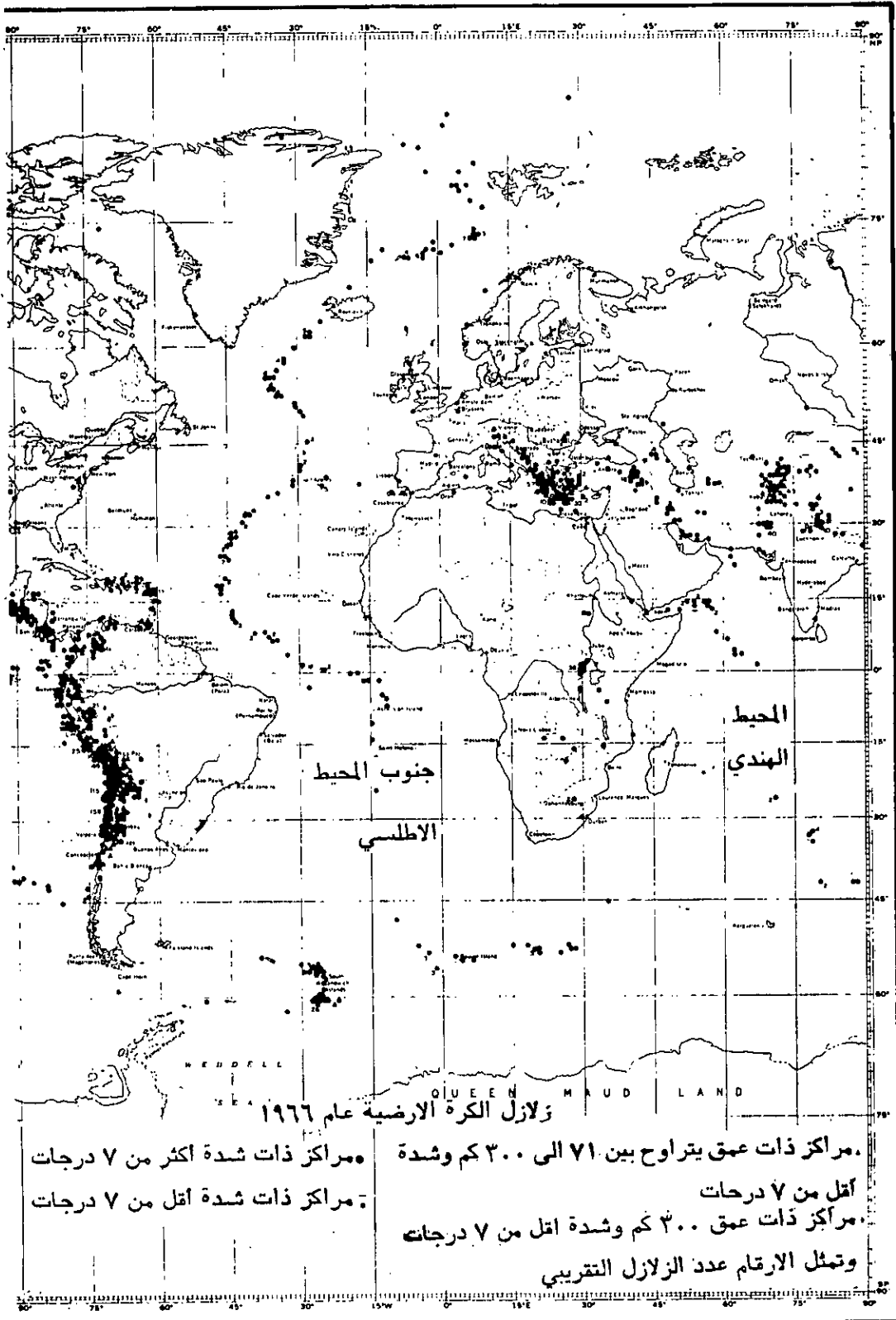
التنبؤ بالزلازل ومراقبتها Earthquake Prediction and Control

ان احد المهام الملحة على عاتق علماء الزلازل هو التنبؤ بزمان ومكان وشدة الزلازل قبل حدوثها ، والوصول الى هذا الهدف يعني ابعاد الخطر عن حياة الانسان وتوفير ملايين الدولارات التي تكلفها المشاريع المتعرضة للمخاطر .
ان توزيع الزلازل التي حدثت في الماضي يدل على انها لم تكن منتشرة على الكرة الارضية كلها . (انظر الاشكال (١٣ - ١٧) ، (١٣ - ١٨)) ورغم انه ليس هناك مكان على الارض مأمون تماما من الزلازل الا اننا نجد معظم الزلازل التي ستحدث مستقبلا ستتركز في تلك المناطق ايضا وهذه المناطق الزلزالية النشطة هي :

- الحزام المحيط بالمحيط الهادي .
 - الشريط الممتد بين البحر الابيض المتوسط والهملايا .
 - ظهور وسط المحيطات (٢٠) .
- وللتخفيف من اخطار الكوارث المتسببة عن الزلازل فلا بد من الابتعاد ، عن المواقع ذات النشاط الزلزالي سابقا وكذلك اماكن الفوالق عند اختيار موقع



الشكل (١٣ - ١٧) : مناطق الزلازل على الكرة الأرضية حسب مواقع زلازل عام ١٩٦٦.



لبناء مشروع ما ولكن هذا يعني بالنسبة للولايات المتحدة مثلا تجنب ولايسة كاليفورنيا بأكملها وهي ولاية ذات اكبر كثافة سكانية وهذا ليس عمليا ولذا لابد من البحث عن وسائل اخرى تمكن من التنبؤ بالزلازل وتجنب اثارها المدمرة .

ان معظم الطرق المستخدمة للتنبؤات تعتمد اساسا على ملاحظات وظواهر حصلت مباشرة قبل وقوع الزلازل سابقا وكذلك الى حد ما على بعض التجارب العملية . ان معظم ما قدم من اعمال تتعلق في هذا الامر جاء من اليابان ، ذلك البلد ذي الكثافة السكانية العالية والنشاط الزلزالي الكبير . وقد بدأوا باستنباط وسائل عامة في التنبؤات عام ١٩٦٦ . ان الوضع (والحالة هذه) يستدعي جميع البيانات الضرورية للتنبؤات الزلزالية وذلك بواسطة القياسات المكثفة للمناطق النشطة زلزاليا . كمناطق فالق سان اندرياس مثلا من اجل تسجيل الظواهر التي تطرا على المنطقة المعنية قبل حدوث الزلزال . وانه حتى لو تم هذا فان امكانية التنبؤ عن النشاط الزلزالي مستقبلا تبقى غير مضمونة بالرغم من أن البيانات الموجودة تجعل وقوعه شديد الاحتمال .

على أي حال فان التوسع في جمع المعلومات الزلزالية يفيد المهندسين عند وضع التصميمات للمشاريع الكبيرة من حيث جعلها مقاومة للزلازل كما انها تمكننا من التعرف على كيفية حدوثها ايضا . وان الظواهر التي تسبق حدوث الزلازل والتي اصبحنا نعرفها هي كالتالي : الزحف ، ثم الانحراف ، ثم تغير في الجهد ، وازدياد في الهزات الخفيفة جدا بالاضافة الى تغيير في بعض الخواص الفيزيائية للصخور كالتوصيل الكهربائي والتأثير المغناطيسي .

ان التنبؤ في اليابان يعتمد على حدوث انحراف خفيف يرافقه ازدياد ملحوظ في الهزات الخفيفة جدا وذلك قبل حدوث الزلازل المدمرة بعدة اسابيع . وأما بالنسبة لمنطقة سان اندرياس في كاليفورنيا فان تكوينات القشرة فيها تبدو مختلفة تماما . فالتشويه الذي يحصل على الصخور العميقة هناك يتبعه تغير طفيف في الخواص المغناطيسية مجليا وذلك قبل بضع عشرات من الساعات من الزحف لعدة مليمترات . وحتى الان لم تحدث هذه التغيرات المغناطيسية الا قبل الحركات . وفي بعض الحالات القليلة كانت الزلازل تتبع هذه الحركات بعد حصولها بأيام قليلة .

Location of Epicenters

تحديد المركز السطحي

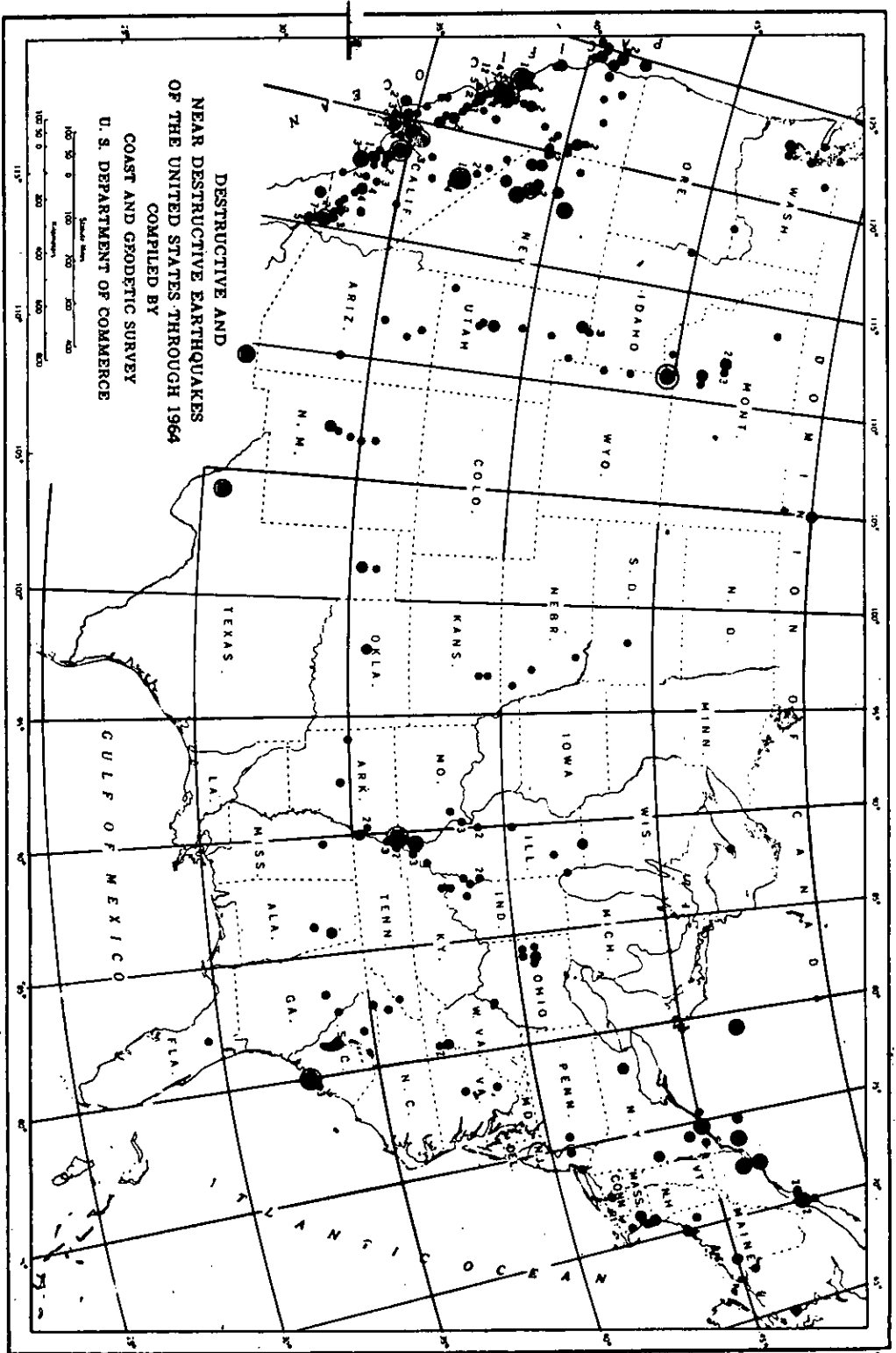
يستفاد من الفرق بين سرعة الامواج الاساسية والثانوية في تحديد نقطة المركز السطحي للزلازل ما . فحيث ان الموجة الثانوية تنتقل بسرعة اقل من الرئيسية فان الفرق الزمني بين وصولها يتناسب طرديا مع المسافة التي تفصل محطة التسجيل عن مكان انطلاقها حيث حدث الزلزال . ويبين الشكل (١٣-١٩) ضرورة الحصول على تقارير من ثلاث محطات مختلفة لتحديد نقطة المركز السطحي ولكي نطبق هذا المبدأ البسيط كان لا بد من الحصول مبدئيا على سرعة الامواج الاساسية والثانوية . وهو ما حصل عندما استطعنا ايجاد الموقع التقريبي للزلازل ما من خلال درجة الشدة كما وردت في التقارير عن ذلك الزلزال ثم اخذ زمن وصول الامواج الاساسية والثانوية لعدة محطات زلزالية ومقارنته مع المسافة بين تلك المحطات ومكان الزلزال . وبسط طريقة لعمل هذا هي ان نعبّر بالرسم عن العلاقة بين المسافة وزمن وصول كل من الامواج . وعموما كان ضروريا (بهدف التأكد من تعيين موقع الزلزال) ان نعدل باستمرار موقع الزلزال التقريبي حسب درجة الشدة حتى يكون افضل تقييم لسرعة انتقال الموجات قد تم انجازه .

وقد تكررت هذه العملية مرات عديدة حتى امكن في النهاية وضع منحنيات شاملة تمثل سرعة انتقال الموجات في الكرة الارضية كلها . ثم امكن بهذه الطريقة وضع تصور للتركيب (البناء) الداخلي للارض .

Internal Structure of the Earth

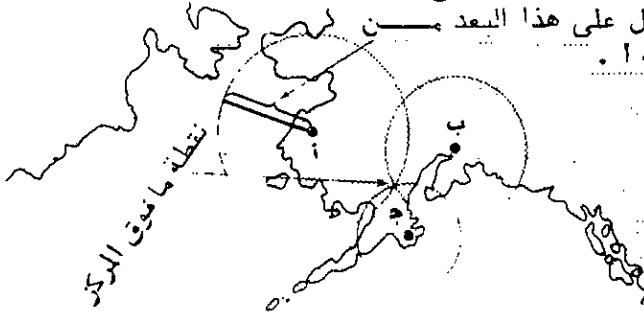
(بناء) تركيب الارض الداخلي

لقد تبين من تحليل سرعة الامواج الزلزالية ان باطن الارض يتميز بتركيب طبقي . وهو ما نراه في الشكل (١٣ - ٢٠) ، حيث نستطيع تمييز ثلاث طبقات هي: القشرة وهي رقيقة جدا ويتراوح سمكها بين ٣٥ و ٣٥٣ ميلا ثم الستار mantle ويأتي دونها ويبلغ سمكه حوالي ١٨٠٠ ميل واخيرا النواة وهي في المركز ويبلغ نصف قطرها حوالي ٢١٥٠ ميلا . وتتغير سرعة الامواج الزلزالية فجأة عند سطوح الفصل بين هذه الطبقات علما بان الامواج الثانوية لا تستطيع اختراق النواة (انظر الشكل (١٣ - ٢٠)) .

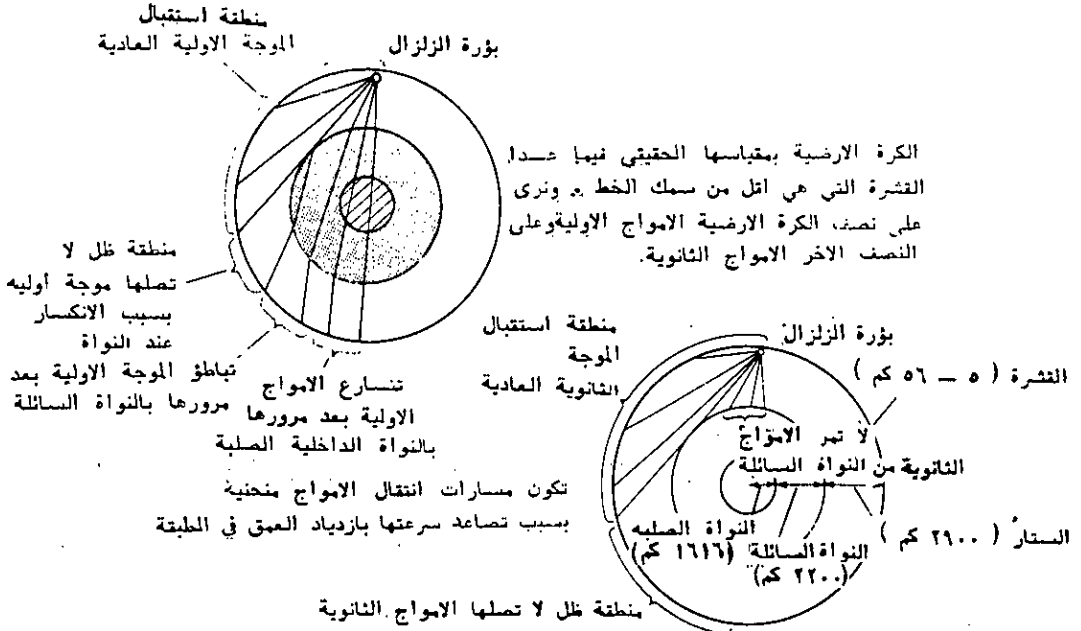


الشكل (١٢ - ١٨) : الزلازل المدمرة وشبه المدمرة في الولايات المتحدة خلال عام ١٩٦٤ . وتبين الدوائر الصغيرة شدة ٧ الى ٨ ، أما الكبيرة فمن ٨ - ٩ في حين تبين الدوائر الصغيرة المحاطة بدائرة شدة تقع بين ٩ - ١٠ ، والكبيرة منها من ١٠ - ١٢ . أما الأعداد فتدل على عدد الزلازل .

أزمنة وصول الأمواج الأولية
والثانوية (p.s) تدل على حدوث
الزلازل على هذا البعد من
محطة أ .



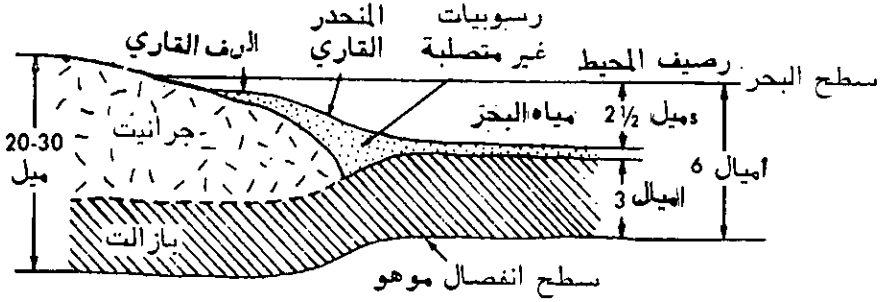
الشكل (١٢ - ١٩) (i) ، (ب) وكذلك (ج) هي محطات رصد زلزالي وتُعدّل
أزمنة وصول الأمواج الأولية والثانوية على أن الزلزال حدث في مكان ما على الدائرة المحيطة
بتل من المحطات . أما نقطة سطح المركز فهي نقطة تقاطع الدوائر الثلاث .



الشكل (١٣ - ٢٠) : سلوك الأمواج الأولية والثانوية في الستار والنواة يكشف
عن التركيب الطبقي للأرض .

وتظهر هذه الملاحظة الأخيرة أن النواة تتكون من سائل لأن الأمواج المستعرضة
لا تمر من السوائل بينما تستطيع الأمواج الضاغطة ذلك . والواقع أن التركيب
في كل من هذه الطبقات غالبا ما يكون اعتد مما حاولنا أن نوضحه هنا . فمثلا
أن سرعة الأمواج الأساسية تأخذ في الزيادة عندما تقترب من مركز النواة مما
يدل على احتمال وجود هذا الجزء في الحالة الصلبة .

أما القشرة فإنها تمثل تلك الطبقة الرقيقة التي تغطي الستار . وهناك تغيير واضح في السرعة الزلزالية عند مستوى السطح الفاصل بين الطبقتين وهو ما يسمى بانفصال موهو وهو أسم عالم الزلازل الذي اكتشفها عام ١٩٠٩ . أما سماكة القشرة (أو المسافة حتى الموهو) فإنها تتراوح بين ثلاثة أميال وخمسة وثلاثين ميلا (الشكل (٣ - ٢١)) وهي تحت القارات (٢٢-٣٥ ميلا) أسمك منها تحت المحيطات بينما نجد أعظم سمك لها تحت السلاسل الجبلية حديثة التكوين .



الشكل (٢١ - ١٣) : مقطع عام للحدود القارية المحيطية مأخوذ عند منطقة نابتية جيولوجيا .

ولقد أمكن التعرف على انفصال موهو بالبراهين الزلزالية ، وإن التقاط مجموعتين من الأمواج الأساسية والثانوية بواسطة محطات رصد تبعد حوالي ٥٠٠ ميل عن المركز السطحي للزلازل التي تحدث قريبة من السطح ليكشف عن تركيب طبقي لباطن الأرض ، فأحدهما مكونة من أمواج أساسية وثانوية تسير في القشرة الأرضية بينما تسير المجموعة الأخرى مخترقة الستار ، ولهذا فإن المجموعتين تختلفان في سرعة انتشارهما (انظر الشكل (٢٢-١٣)) . ومن خلال دراسة زمن انتشارها في عدة محطات رصد يصبح حساب عمق فاصل موهو ممكنا ، وهو ما اصطلح على تسمية هذا التغير بالسرعة به .

ويبين الشكل (٢٣-١٣) أن الفروق الصغيرة في سرعة الانتشار تكشف بدورها عن تركيب طبقي في القشرة ذاتها . ويعتقد بأن القشرة الأرضية تتكون

تعتبر هذه الامواج الاولى
والثانوية (P & S) خلال القشرة
الارضية

تعتبر هذه الامواج الاولى
والثانوية عبر الستار بسرعة
اكبر ولذا فهي تصل بأسرع
هو متوقع (فيما عدا عند
المحطات القريبة من مركز
الزلازل



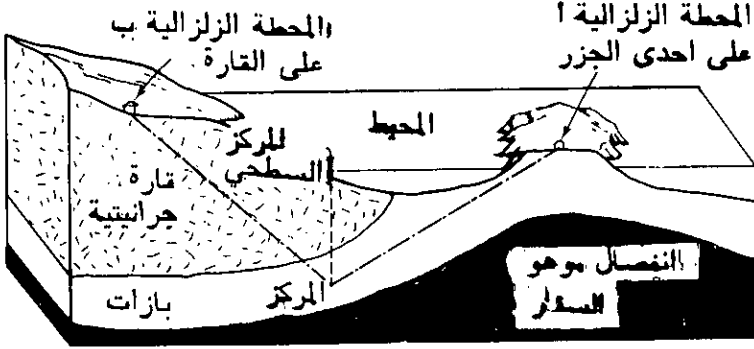
الشكل (١٣ - ٢٢) : تحديد عمق عدم توافق موهوروفج .

تحت القارات من صخور جرانيتية وذلك لاننا نجد القاعدة التي تتجمع فوقها
الصخور الرسوبية ذات الانتشار الواسع على سطح الارض تتكون من صخور
نارية او متحولة جرانيتية التكوين . وكذلك لانه وجد بأن سرعة انتشار الامواج
في الجرانيت تشبه تلك التي نحصل عليها تحت القارات في القشرة الارضية
وبنفس الطريقة يعتقد بأن قاع المحيطات يتكون من صخور بازلتية وهي تمتد الى
قاع القارات . وتكون هناك الطبقة السفلى تحتها . وحقيقة وجود البراكين في
المحيطات وعلى القارات يقوي هذا الاعتقاد . ومع ان هذه الطبقة تعتبر بازلتية
التكوين الا ان القياسات الزلزالية تجعلنا نعتقد بأن تشكيلها على الاغلب هو
من نوع الجابرو والامفبوليت لان لهذين النوعين نفس الصفات والمكونات الكيماوية
التي للبازالت .

ان طبيعة انفصال موهو لا تزال مجهولة المعالم فيما عدا ما هو معروف عن
التغير الواضح الذي يطرا على السرعة الزلزالية عنده . ولسنوات عديدة كان
يسود الاعتقاد بأن ذلك يعود الى تغير في المكونات من البيرودوتايت والدونايت
في اعلى الستار البازلتى في الطبقة السفلى من القشرة . ولكنه اعيد النظر في ذلك
في الاونة الاخيرة وطرحت فكرة ان يكون هذا التغير ناجما عن تغير في التكوين
المعدني لصخور ذات تركيب كيميائي واحد اي انه ليس هناك اختلاف في التراكيب
الكيماوية اصلا . وانه من المعروف حدوث مثل هذه التغيرات كنتيجة لارتفاع
الضغط ودرجة الحرارة . وقد تحدث في نطاق ضيق وقليل السمك لدرجة يصبح
بها التغير في سرعة انتقال الامواج مفاجئا وسريعا جدا . ويمكن مشاهدة مثل هذا
عندما يتعرض البازالت لضغط عال وارتفاع في درجة الحرارة .

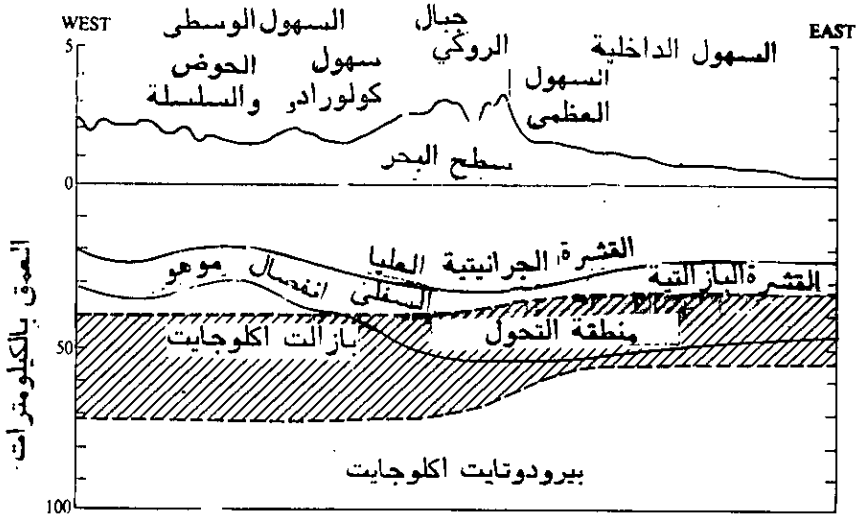
والذي يحدث تحت هذه الشروط هو أن الاوجايت (٢١) وانبلاجيوكلاز (٢٢)

التي في البازالت تفقد اقترانها فتعبد العناصر تجمعها من جديد مكونة انواعا مختلفة من المعادن مثل الجرانيت (٢٢) ولانغاسايت (٢٤) ومثل هذه الصخور

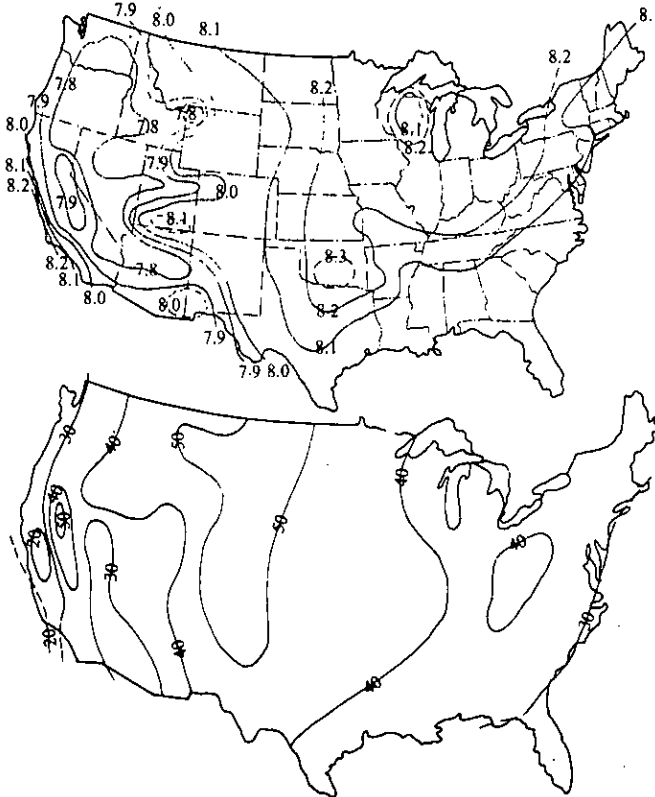


المشكل (١٢ - ٢٢) مجسم يبين ممرات الامواج الساييزمية عند عبورها بازالت المحيط وانجرايت القاري . ان محطتي الرصد (i) و (ب) تبعدان عن مركز الزلزال نفس المسافة ، ومع هذا تستقبل المحطة ١ الامواج أولا لانها تنتشر بسرعة اكبر في البازالت عنها في الجرانيت .

تسمى اكلوجايت ، وهي نادرا ما تظهر على سطح الارض وحيثما وجدت تكون برزت بسبب الرفع والحت المستمرين لاجزاء من سطح الارض حيث تنكشف عندئذ صخور الاكلوجايت التي كانت جاثمة في العمق . كما انها قد تصعد للسطح محمولة مع اجسام دخيلة . ويستمر الارتفاع في الضغط وهو ما يلزم لتغيير التركيب المعدني من ازدياد وزن الطبقات المتراكمة . ولذلك ، ان كان صحيحا أن وجود سطح الموهو ناتج عن تغيير في التكوين المعدني وليس في التركيب الكيميائي فان تشكيل سطح انفصال الموهو يجب أن يتبع مورفولوجيا السطح الخارجي للارض الا ان هذا لا يحدث في الواقع . ويرينا الشكل (١٣ - ٢٤) عمق الموهو مستتبعا من البيانات الزلزالية وكذلك العمق المحسوب للطبقة الانتقالية لجزء من الولايات المتحدة ؛ والشكل (١٣ - ٢٥) يظهر اختلافات جانبية اخرى في تركيبات منطقة الولايات المتحدة ، انه بالامكان معرفة عمق زلزال ما من معرفة زمن وصول الاهتزازات الى محطات التسجيل القريبة كما هو مبين في الشكل (١٣ - ٢٦) . وتسمى النقطة التي تنطلق منها الاهتزازات بالبوارة (٢٥) والنقطة التي تقع فوقها على السطح مباشرة بنقطة المركز السطحي . وتكون معظم الزلازل من النوع الذي يحدث قريبا من السطح على



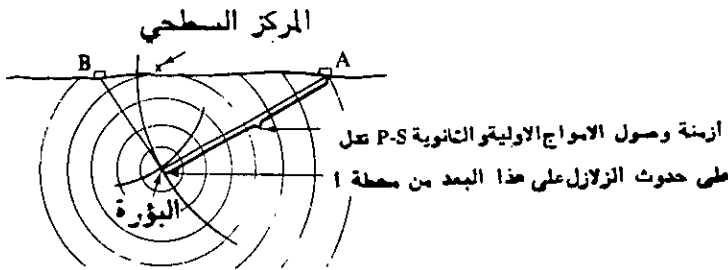
الشكل (١٢ - ٢٤) : مقطع بين تركيب القشرة والستار العلوي ، وكذلك نطاق التحول الإزالي الاكلوجيني المتوقع من منطقة الحوض والسلسلة حتى السهول العظمى .



الشكل (١٢ - ٢٥) : اختلافات جانبية في تركيب الولايات المتحدة :
 أ - السرعة السائزمية في الستار العلوي . وهذه السرعة هي اقل من ٨ كم في الثانية في معظم أنحاء الولايات المتحدة الغربية .
 ب - سبك القشرة . والخطوط هي بالكيلومترات .

عمق اقل من ٣٥ ميلا ، ولكن بعضها يحدث على عمق ٤٣٥ ميلا . أما النوع الاخر الذي يحتوي على زلازل بعيدة العمق فقد استدل على وجوده سابقا عندما كانت تحدث بعض الزلازل ولا يصاحبها امواج سطحية ، ويكون تأثير ستار الارض على الزلازل بعيدة العمق كما لو كان في حالة الصلابة عندما تحدث التشوهات السريعة ، وذلك على الاقل حتى العمق الذي حدث فيه الزلزال . وتتركز هذه الزلازل بعيدة العمق في مناطق الحدود بين القارات والمحيطات فقط . وسنعود لهذا الموضوع فيما بعد .

وبما أن سرعة انتشار الامواج تتعلق بالخواص الفيزيائية للوسط الذي تمر فيه فان استنتاج خصائص المواد التي تكون الاجزاء العميقة من الأرض يصبح ممكنا . ويجدر ان نتذكر هنا كيفية توزيع الكثافة في الاجزاء العميقة من الأرض وهو ما كنا قد ناقشناه . اثناء بحثنا لوزن الأرض . ان الطريقتين في البحث تؤديان الى وضع تصور عن الكثافة النوعية لستار الأرض ، وميه تتراوح الكثافة النوعية من حوالي ٣ قريبا من السطح العلوي الى ٦ تقريبا عند القاعدة . وينتسب الطريقة تبين أن الكثافة النوعية للنواة تتراوح من حوالي ٩ عند السطح الى حوالي ١٢ عند المركز .



الشكل (١٣ - ٢٦) : تحديد عمق بؤرة زلزال ما .

تكوين طبقات الأرض

Composition of the layers of the earth

ان معرفتنا لمكونات الأرض تعتمد أساسا على التصورات ، لانه يستحيل الحصول على عينات من باطن الأرض مباشرة ، وألبرهان الوحيد على مكوناتها

يأتي من النيازك وسنرى في الفصل العشرين من هذا الكتاب أن الاعتقاد يسود بأن الأرض والنيازك نشأت في نفس الوقت ومن نفس المواد . أن النيازك هي القطع التي تسقط على الأرض من الفضاء ، ويحترق منها الكثير بسبب الحرارة الناتجة عن الاحتكاك مع الغلاف الهوائي للأرض ، أثناء سقوطها مكونة ما يعرف بالشهب . (٢٦)

ويكون بعض تلك النيازك ذا حجم كبير بحيث يترك حفرة على الأرض عند ارتطامه بها . كالفجوة الموجودة في الأريزونا. ويعتقد بأن الفوهات البركانية الموجودة على سطح القمر الذي يخلو من أي غلاف جوي كانت قد تكونت بنفس الطريقة .

والنيازك ثلاثة أنواع :

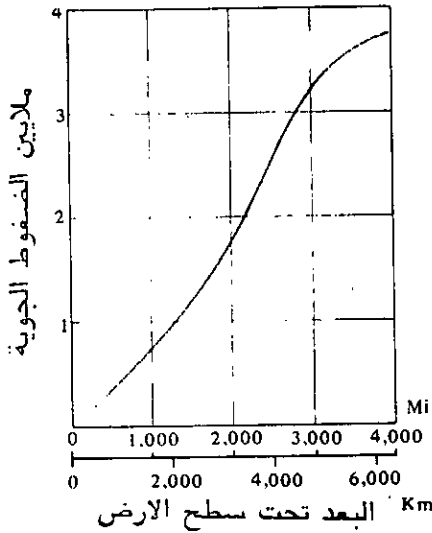
١ — النيازك الحجرية ، وتتكون من الأوليفين (٢٧) والبايروكسين (٢٨) واسم تركيبها الصخري بيريدوتايت (٢٩) .

٢ — النيازك الحديدية وتتكون في معظمها من الحديد والنيكل .

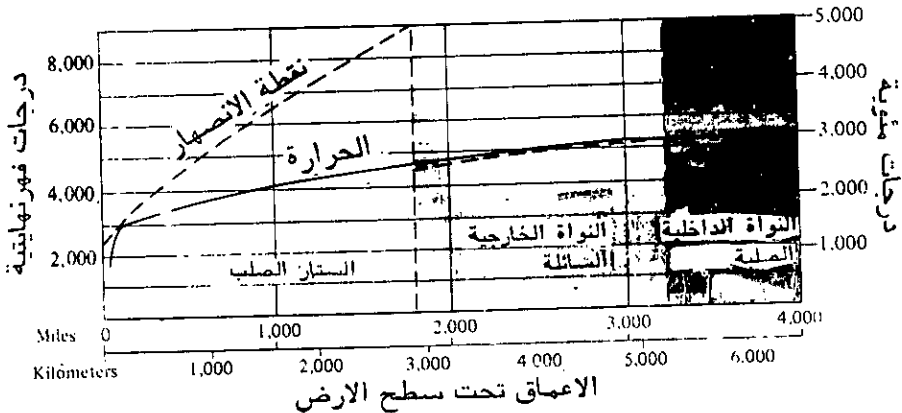
٣ — النيازك الحجرية الحديدية وتتكون من مزيج من النوعين الأوليين .
إن الكثافة النوعية للبيرودتايت أو الدونايت وكذلك بعض الخواص الفيزيائية الأخرى تتفق مع تلك الخواص التي تم اشتقاقها بالوسائل الزلزالية والطرق غير المباشرة الأخرى للستار العلوي الأرضي ، أما الستار السفلي (الذي يقع تحت النطاق ذي السرعة البطيئة low velocity zone فيما يتعلق بانتشار الأمواج) فإنه يتكون غالبا من أكاسيد الحديد والمغنيزيوم والسليكون بحالة السيولة . ولوضع هذه الفرضيات لابد من جعل الضغط ودرجة الحرارة يرتفعان في أعماق الأرض لأن ذلك يغير كثيرا في خواص الصخور الباطنية .

وبما أنه من المتعذر الحصول على هذه الحرارة وذلك الضغط العاليين في المعمل فإن ذلك يصبح مدعاة للشك . أن للظروف السائدة في الستار وخاصة تلك التي في الجزء العلوي منه أهميتها في دراسة القشرة الأرضية ، وهكذا فإن الشك يقود إلى وضع عدة نظريات محتمة لإيجاد الصلة مع العمليات التي تدور في القشرة الأرضية .

ان معلوماتنا عن الضغط في اعماق الارض ليست قليلة بينما ينعكس الحال بالنسبة لمعرفةنا عن درجات الحرارة . فان الضغوط تتناسب ووزن التراكمت العلوية . وحيث أن الكثافة النوعية معروفة لدينا من الدراسات الزلزالية فانه يسهل حساب الضغط حسب قانون الجاذبية (انظر الشكل (١٣ — ٢٧)) وهي ضغوط هيدروستاتيكية اي انها متساوية في جميع الاتجاهات لان صخور الستار الارضي والقشرة الارضية ليست يابسة تماما كما سوف نرى فيما بعد وان كانت في حالة الصلابة . والمثال البسيط التالي يوضح كيفية الضغط الهيدروستاتيكي .



الشكل (١٣ — ٢٧) : الضغط داخل الارض .



الشكل (١٣ — ٢٨) : تقدير لدرجات حرارة باطن الارض .

فإذا بنينا الطوب فوق بعضه فانه يشكل ضغطا فقط على القاعدة لانه صلب .
ولكننا نجد أن كوم الرمل ينهار اخذا شكلا مخروطيا اذا لم يكن حوله جدار يثبتهُ
وذلك لان الرمل ليس متماسكا ولهذا فان ضغطه المتمثل في وزنه يتجه الى جميع
الجهات .

في القرن التاسع عشر أخذت قياسات عن نسبة التسرب الحراري (٢٠) الى
سطح الارض ، فتوصل اللورد كلفن بواسطتها الى أن عمر الارض هو اقل من
١٠٠ مليون سنة وربما يتراوح من ٢٠ الى ٣٠ مليون سنة . وقد اعتمدت
حساباته على الافتراض بأن الارض كانت قطعة منصهرة عندما تكونت وهي تبرد
منذ ذلك الزمن . وعموما بدأ تفسيره لنشأة الارض مقبولا في أيامه ومعقولا .
خاصة وان خاصية الاشعاع الذري لم تكن معروفة آنذاك . أما الجيولوجيون فلم
يتقبلوا ذلك لانه كان واضحا لهم انه يلزم اضعاف هذه الارقام من الزمن لترسيب
السماكات المعروفة من الصخور الرسوبية الموجودة على سطح الارض . أما
الان فنحن نعرف أن المواد المشعة الموجودة في القشرة الارضية وحدها كافية
لتقليل ما يتسرب من حرارة من الارض ، وسوف نعود الى هذا المصدر الحراري
اثناء مناقشتنا للقشرة الارضية فيما بعد .

لقد تم تقدير حرارة الارض من خواص الصخور الفيزيائية لان اصل الحرارة
ليس معروفا . فقد تكون الحرارة متبقية منذ تكوينها أو تعود في أصلها الى مصادر
اشعاعية في الارض ، الا انها بالتأكيد ليست من الشمس . فالحرارة الشمسية
هي مصدر يؤثر فقط على سطح الارض ويحافظ على درجة حرارته والبيانات
المستقاة من المناجم العميقة والابار التي حفرت في الارض اثبتت بأن درجة حرارة
الارض ترتفع درجة فهرنهايتية واحدة كلما تعمقنا خمسين قدما تقريبا واذا استمرت
هذه النسبة التصاعدية حتى مركز الارض فان درجة الحرارة ستصل الى
٤٠٠٠° ف وهي غير معقولة فستكون أعلى من حرارة الشمس .

لقد تم تقدير الحدود القصوى لدرجة حرارة الارض من معرفتنا لدرجة
انصهار المراد المكونة لتلك الطبقات ، آخذين في الاعتبار ارتفاع نقطة
الانصهار نتيجة لارتفاع الضغط . أما الحدود الدنيا فقد تم تقديرها من حساب
ادنى درجة تسمح بانتقال التيارات الحرارية . ويعتقد بأن التيارات هي عمليات

مهمة تحدث في سائر الارض . وسنناقشها فيما بعد (انظر الشكل (١٧-٤) .
ومع أن التيار بحاجة لسائل الا أن مواد السائر الارضي تستطيع الانسياب
ببطء (محافظة على قدرتها في انتشار الامواج الزلزالية الثانوية من خلالها كمادة
صلبة) . وهي تشبه في ذلك مادة القار في درجة حرارة الغرفة . وفي مثل هذه
الحالة فان القار يعتبر صلبا عند حدوث تشوهات مفاجئة بينما نجده يسيل بفعل
ثقله على مدى زمني طويل . وهكذا تم اشتقاق التوزيع الحراري في الارض كما
في الشكل (٣-٢٨) .

اسئلة

- ١٣ - ١ بين كيف تم قياس الارض سابقا مستعملا الرسم الهندسي .
- ١٣ - ٢ كيف تم حساب وزن الارض ؟
- ١٣ - ٣ ماهو معدل الكثافة النوعية للارض واية مشكلة يبرزها ؟
- ١٣ - ٤ ما السبب المباشر للزلازل ؟ وما السبب الاساسي لذلك ؟
- ١٣ - ٥ بين كيفية عمل سجل الزلازل .
- ١٣ - ٦ صف بايجاز كلا من انواع الامواج الزلزالية الثلاثة .
- ١٣ - ٧ اي الامواج الزلزالية تسبب اكبر الدمار ؟ وكيف تحدث معظم الخسائر نتيجة الزلازل ؟ وكيف يمكن تجنب بعض هذا الدمار ؟
- ١٣ - ٨ ماذا يعني حجم الزلزال ؟
- ١٣ - ٩ كيف يمكن تحديد نقطة المركز السطحي ؟ استعن بالرسم .
- ١٣ - ١٠ صف كيفية انتشار الامواج الثانوية في الارض .
- ١٣ - ١٢ كيف يتم تحديد البؤرة الزلزالية ؟
- ١٣ - ١٣ تحدث الزلازل العميقة على عمق ميلا .
- ١٣ - ١٤ ان نصف قطر نواة الارض يساوي ميلا ويعتقد انها تتكون من ما هو الدليل على ذلك ؟
- ١٣ - ١٥ ان سمك الستار يساوي ... ميلا ويعتقد انه يتكون من ما هو الدليل على ذلك ؟
- ١٣ - ١٦ يفصل ال بين القشرة والستار .

مراجع اضافية

- Anderson, D. L., "The San Andreas Fault," *Scientific American* (November, 1971), Vol. 225, No. 5, pp. 52-68.
- Bolt, B. A., "The Fine Structure of the Earth's Interior," *Scientific American* (March, 1973), Vol. 228, No. 3, pp. 24-33.
- Christensen, M. N., and G. A. Bolt, "Earth Movements: Alaskan Earthquake, 1964," *Science* (September 11, 1964), Vol. 145, No. 3627, pp. 1207-1216.
- Grantz, Arthur, and others, *Alaska's Good Friday Earthquake, March 27, 1964*. U.S. Geological Survey Circular 491, 1964, 35 pp.
- Hales, A. L., "A Look at the Mantle," *Geotimes* (July-August, 1964), Vol. 9, No. 1, pp. 9-13.
- Hammond, A. L., "Dilatancy: Growing Acceptance as an Earthquake Mechanism," *Science* (May 3, 1974), Vol. 184, No. 4136, pp. 551-552.
- Hansen, W. R., and others, *The Alaska Earthquake, March 27, 1964: Field Investigations and Reconstruction Effort*. U.S. Geological Survey, Professional Paper 541, 1966, 111 pp.
- Hodgson, J. H., *Earthquakes and Earth Structure*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1964, 166 pp. (paperback).
- Iacopi, Robert, *Earthquake Country*. Menlo Park, Calif.: Lane Book Co., 1964, 192 pp. (paperback).
- Kate, R. W., and others, "Human Impact of the Managua Earthquake," *Science* (December 7, 1973), Vol. 182, No. 4116, pp. 981-990.
- King-Hele, Desmond, "The Shape of the Earth," *Scientific American* (October, 1967), Vol. 217, No. 4, pp. 67-77.
- Pakiser, L. C., and others, "Earthquake Prediction and Control," *Science* (December 19, 1969), Vol. 166, No. 3912, pp. 1467-1474.
- Plafker, George, "Tectonic Deformation Associated with the 1964 Alaska Earthquake," *Science* (June 25, 1965), Vol. 148, No. 3678, pp. 1675-1687.
- Press, Frank, "Earthquake Prediction," *Scientific American* (May, 1975), Vol. 232, No. 5, pp. 14-23.
- Smylie, D. E., and L. Mansinha, "The Rotation of the Earth," *Scientific American* (December, 1971), Vol. 225, No. 6, pp. 80-88.
- Tocher, Don, "Earthquakes and Rating Scales," *Geotimes* (May-June, 1964), Vol. 8, No. 8, pp. 15-18.
- Verhoogen, John, "Temperatures within the Earth," *American Scientist* (June, 1960), Vol. 48, No. 2, pp. 134-159.

Wallace, R. E., *Goals, Strategy, and Tasks of the Earthquake Hazard Reduction Program*. U.S. Geological Survey Circular 701, 1974, 27 pp.

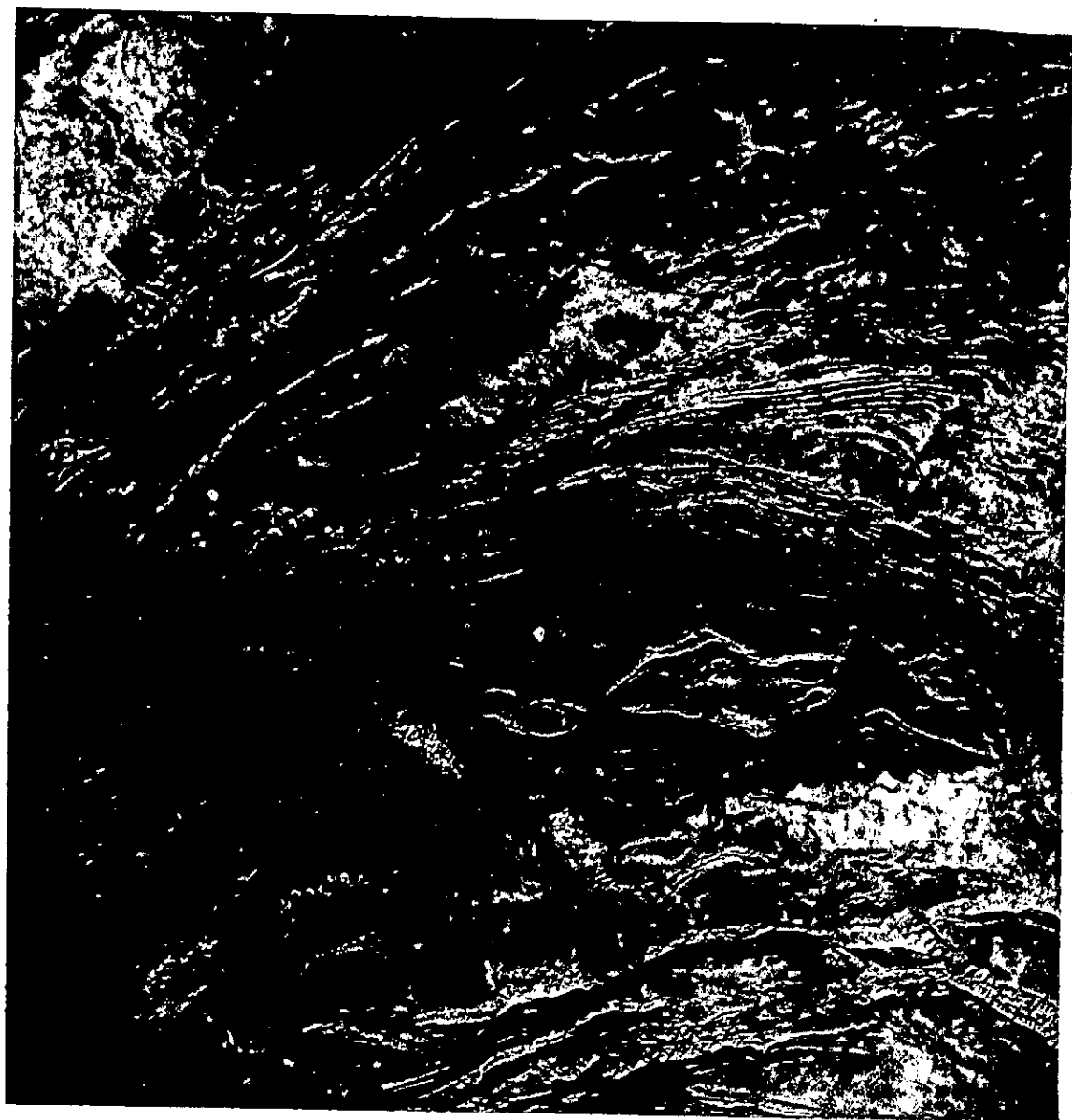
Witkind, I. J., and others, *The Hebgen Lake, Montana, Earthquake of Au-*

gust 17, 1959. U.S. Geological Survey, Professional Paper 435, 1964, 242 pp.

Wyllie, P. J., "The Earth's Mantle," *Scientific American* (March, 1975). Vol. 232, No. 3, pp. 50-63.

الفصل الرابع عشر الملاح الرئيسية للقشرة الارضية

ملاح سطح الارض الطبوغرافية
الفروق بين القارات والمحيطات
اسئلة
مراجع اضافية



ملامح سطح الارض الطبوغرافية

Topographic Features-of the
Earth's Surface

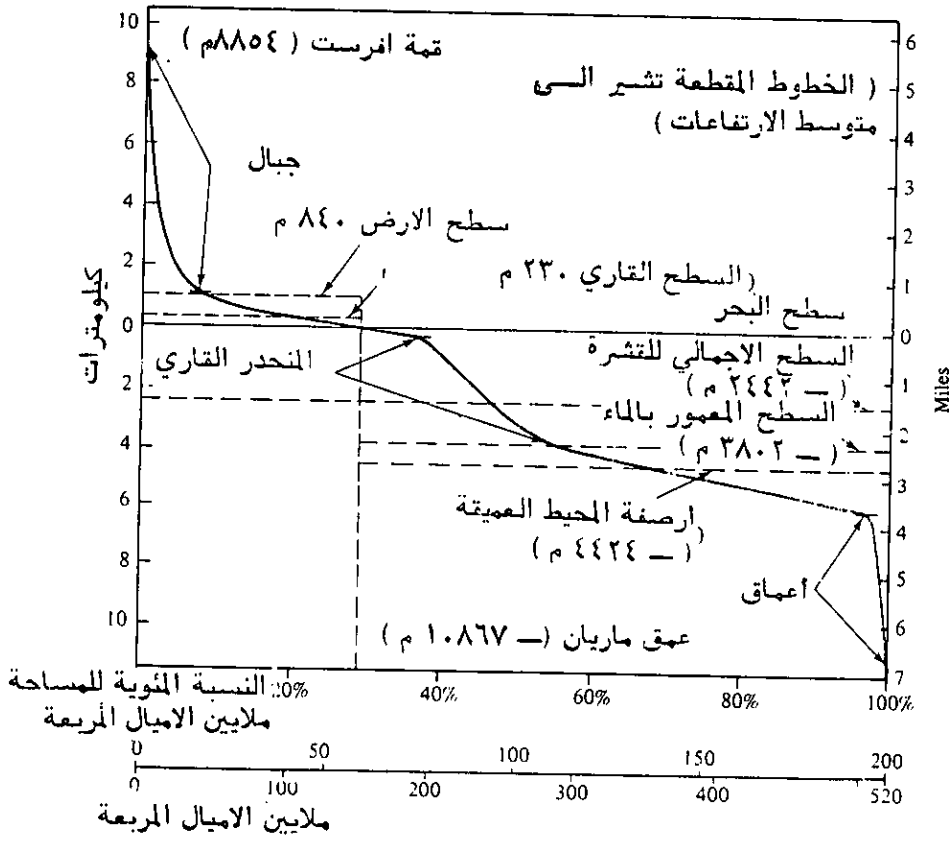
يلخص الشكل (١٤ - ١) ملامح تضاريس الارض . ونرى في هذا الرسم ان الاجزاء من الارض ذات الارتفاع الكبير وتلك العميقة جدا انما تشكل مساحة صغيرة من سطح الارض . بينما تكون المنحدرات الشاطئية القارية وارصفة المحيطات العميقة الجزء الاعظم منه . ان احدى المشاكل الرئيسية في الجيولوجيا تكمن في معرفة السبب لهذا الفرق الواضح في المستويين. ومن الجدير بالملاحظة ان الفرق في الارتفاع بين أعلى نقطة واكثر النقاط انخفاضا على سطح الارض يقارب الاثنى عشر ميلا ، وهو صغير جدا بالمقارنة بنصف قطر الكرة الارضية ($12/3957 = 0.3\%$) . بحيث يبدو سطح الارض انعم من كرة البلياردو. ونرى من هذه المقارنة ان الملامح التي نراها على السطح انما هي بسيطة جدا، اذا ما قورنت بالارض كلها .

وبشكل عام نجد ان الملامح الطبوغرافية المقترحة في هذا الرسم موزعة بنظام معين وليس اعتباطا ، وتكون انواع الصخور وتركيباتها عادة واضحة المعالم . ونحصل بهذه الطريقة من التحليل على الملامح التالية لسطح الارض :

١ - ملامح قارية Continental features وتكون من :

— الرفوف القارية المغمورة بالماء (وتعتبر جزءا من منحدرات القارات

الشاطئية) : Continental platforms



الشكل (١ - ١٤) : ارتفاعات القشرة الأرضية .

Mountain ranges

— السلاسل الجبلية

٢ — ملامح المحيطات Oceanic features وتكون من :

Deep ocean platforms

— أرضة المحيطات العميقة

Submarine mountains

— الجبال البحرية المغمورة *

Mid-ocean ridges

— الظهور البحرية (١) في أواسط المحيطات *

٣ — ملامح قارية محيطية مشتركة Continent-ocean border features وتكون من:

Continental slopes

— منحدرات القارات

Volcanic island arcs

— الأقواس الجزرية البركانية *

Ocean deeps

— قيعان المحيط

* هذه الملامح غير موضحة على الشكل (١ - ١٤) ، وهي موصوفة فيما بعد .

1. Ridges

أما كيف تكونت هذه الملاح والعلاقات بينها ، فسيكون موضوع ما تبقى من الجزء الثالث . ان احدى المظاهر الهامة على سطح الكرة الارضية هي أن المحيطات تقع غالبا على الجهات المقابلة للقارات . ولا يشذ عن هذه القاعدة أكثر من ٦٪ من سطح الأرض . أي أن ٨٢٫٦٪ من مساحة القارات تتقابل مع مساحات مماثلة من المحيط في الجهة المقابلة من الكرة الارضية . ان السبب في هذا ليس معروفا ، ولقد حسب احتمال كون هذه العلاقة ليست من قبيل المصادفة فوجد انه يساوي ١ : ١٤ .

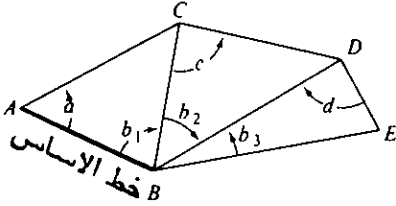
الفروق بين القارات والمحيطات

Differences between the oceans and the continents

يقينا أن الفروق بين المحيطات والقارات لاكثر الظواهر وضوحا على سطح الأرض . والاختلاف في نوعية الصخور هو أحد هذه الفروق الهامة ، فبينما يتكون قاع المحيط من البازالت أساسا ، نجد أن القارات تتكون في مجموعها من الصخور النارية والمتحولة بمواصفات جرانيتية . ولكي يتضح لنا كيفية تأثير هذا الاختلاف في التكوين على المستويين الرئيسيين للارتفاعات كما هو مبين في الشكل (١٤ — ١) ، لا بد لنا من العودة الى نوع اخر من الدراسة .

من المدهش حقا أن طريقة مهمة في الحل تم التوصل اليها نتيجة خطأ حصل اثناء قيام الانجليز بأعمال مسح للهند في حوالي منتصف القرن التاسع عشر . وقد كانت وسائلهم في المسح تشبه الى حد كبير طرقنا المستخدمة حديثا ، إلا أن معداتهم كانت تختلف . ولأن قياس الزوايا هو اسهل وأكثر دقة من قياس المسافات فانهم غالبا ما استعملوا في مسحهم طريقة التجزئة الى مثلثات (١) . ومن أجل هذا الغرض يقاس خط الاساس بدقة بواسطة المقياس الشريطي ، ثم من عند كل من طرفي الخط تؤخذ الزاوية المحصورة بين كل من النهايتين وموقع ثالث يمكن رؤيته من طرف خط الاساس . ويحدد مكان الموقع الثالث اما بحساب المثلثات أو بعمل مقياس للاستقاط . ويمكن التأكد من المثلث بقياس الزاوية عند

الموقع الثالث . وهكذا يمكن استخدام اي من هذين الموقعين لتحديد المركز الثالث وهكذا دواليك حتى يتم تحديد كل المواقع (انظر الشكل (١٤ - ٢)) .
وقد تم تعيين كل من هذه المواقع ايضا بالوسائل الفلكية وذلك باستخدام



الشكل (١٤ - ٢) تحديد النقاط بحساب المثلثات .

نفس الطرق التي يعين بها الملاحون مواقعهم في البحر . وقد اكتشف بأن مراكز النقاط الشمالية القريبة من جبال الهيمالايا كانت تقع بعيدا الى الجنوب من تلك المواقع لنفس المراكز المعينة بواسطة المثلثات . ومع أن الفروق صغيرة في المواقع المعينة بهاتين الطريقتين الا انها اكبر من أن تكون ناجمة عن اخطاء في القياس وخصوصا بعد ما تم تصحيح الوضع الناتج عن انحناء الارض . ويبدو جليا ، أن الحجم الكبير لسلاسل جبال الهيمالايا كان يجذب الميزان الرصاصي الذي كان مستعملا في تعيين سمت الرأس أثناء تحديد المواقع فلكيا . ويعمل ميزان الماء والميزان الرصاصي أساسا بنفس المبدأ ولا بد من استعمال احدهما في تعيين سمت الرأس الذي ترتكز عليه القياسات الفلكية . وحيث أن حجم السلسلة الجبلية معروف فانه يسهل باستعمال قانون نيوتن في الجاذبية حساب مقدار الجاذبية المتوقعة على الميزان الرصاصي وفي هذه الحالة لوحظ أن الانحراف الفعلي كان اقل بكثير من الانحراف المتوقع (انظر الشكل (١٤ - ٣)) . وهذا



الشكل (١٤ - ٢) : أن التجانب بين جبال الهيمالايا والكرة الرصاصية يجعل هذه الكرة تنحرف عن المسقط العمودي . وهذا الانحراف هو اقل من المتوقع ممسما بشر إلى أن قاعدة الجبال مكونة من صخور خفيفة .

دل على احد امرين فاما ان تكون الصخور في الجبال اقل كثافة منها في السهول و ان يكون لكليهما تكوين صخري واحد ولكن تلك التي تقع تحت الجبال هي ذات كثافة اقل . وقد ايدت القياسات الزلزالية والمسح الجيولوجي فكرة الاحتمال الثاني وهي ما تسمى **بنظرية جذور الجبال** (انظر الشكل (١٤ - ٤)) . وهذا يوحي بأن القارات الجرانيتية مثلها مثل الجبال ترتفع عاليا ، لان وزنها اخف وسمكها اكبر من المحيطات البازلتية ، وهذا يعني ان كثافة الجرانيت اقل من كثافة البازلت . ان احتمال وجود طبقة تطفو فيها صخور القشرة الارضية صبح الان حقيقة وسوف نبدأ بأخذ قوة الصخور بعين الاعتبار .

لقد دلت التجارب المخبرية بأن قوة ضغط الجرانيت الذي يشكل غالبية صخور القارات تعادل ٢٢ الف باوند / بوصة ، وبما أن الكثافة النوعية للجرانيت تساوي ٢.٧ فان وزنه يساوي ٢.٧ وزن حجمه من الماء . ومن هذا نستطيع



الشكل (١٤ - ٤) : جذر سلسلة جبلية .

ايجاد طول العمود الجرانيتي الذي يستطيع الجرانيت تحمله . وهذا يعني على أي ارتفاع يتجاوز وزن الجرانيت قوة الضغط فيه .

١ قدم مكعب من الماء يزن ٦٢.٤ باوند

١ بوصة مكعبة من الماء تزن $62.4 \times \frac{1}{1728} = 0.036$ ر. باوند

١ بوصة مكعبة من الجرانيت تزن $2.7 \times 0.036 = 0.097$ ر. باوند

١ ميل = ٥٢٨٠ قدما = ٦٣٣٦٠ بوصة

عمود من الجرانيت ارتفاعه ميل واحد ومقطعه العرضي = ١ بوصة يزن

$63360 \times 0.097 = 614592$ باوند

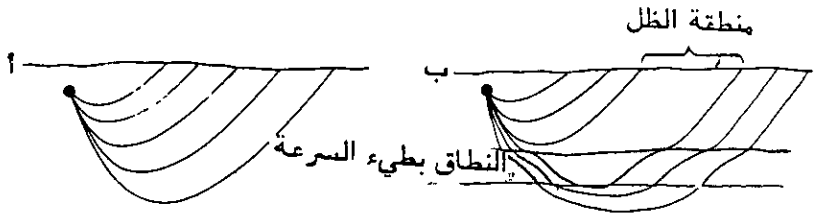
لذلك فان عمودا من الجرانيت طوله ميل واحد له من الوزن ما ينتج ضغطا على قاعدته يساوي ٦١٤٦ باوند / بوصة مربعة . ولهذا فانه اذا وصل سمك

الجرانيت الى اربعة اميال فان وزنه يتجاوز قوة ضغطه عندئذ تتحطم القاعدة تحت الوزن الثقيل . ان سمك القشرة الارضية هو اكبر من هذا بكثير وبالذات حيث السلاسل الجبلية . فكيف يكون هذا ؟ ان هناك عنصرا اغفلناه حتى الان ولكنه لا يغير في صلب الموضوع ، وهو التغير الذي يطرأ على قوة الجرانيت تبعا لزيادة الضغط وارتفاع الحرارة في العمق . فبازدياد الضغط ترتفع كثافة الصخور النوعية وتزداد صلابتها بينما يضعفها الارتفاع في درجة الحرارة . وكمحصلة لهذه المؤثرات يزداد ارتفاع العمود الذي يستطيع البقاء محافظا على قوته الذاتية ، ولكن مما لا شك فيه ان هناك حدودا لذلك . وبما انه لا يمكن تمثيل الظروف السائدة في اعماق القشرة الارضية في المختبر وكذلك لا يمكن التكهّن بمحتويات الصخور بدقة فانه لا يمكن حساب الارتفاع بالضغط . انه لامر واضح على اية حال ان القارات لا يمكنها تثبيت نفسها معتمدة على صلابتها او قوتها الذاتية .

اذا ما الذي يحمل القارات ؟ ان السلاسل الجبلية تتف عاليا لان جذورها خفيفة تماما كما يفعل الجبل الجليدي الضخم الذي يرتفع فوق سطح الماء اكثر من جبل جليدي صغير . وذلك لان جذوره اعمق . وكشبيهه لذلك تبسّدو القشرة الارضية وكأنها تعوم فوق الستار الارضي . فتطفو الصخور القارية الاقل كثافة اعلى من تلك الصخور الاكثر كثافة الموجودة تحت قاع المحيطات .

علاوة على ذلك يبدو ان درجات الحرارة العالية والضغط المرتفع يجعلان الصخور في العمق لدنة مما يجعل القشرة الارضية تعوم فوقها . وبما ان الصخور في هذا النطاق تعتبر ضعيفة وربما يعود ذلك لقربها من نقطة الانصهار بسبب الضغط الشديد فقد يكون هذا النطاق هو المكان الذي تتولد فيه الماجما . وتسمى النظرية التي تعتبر القشرة الارضية عائمة فوق طبقة عميقة لزجة بنظرية التوازن (٢) . انه ليس من السهل تعيين العمق الذي تصبح فيه الصخور لدنة ، وهو ليس بالقرب من سطح موهو الذي يشكل قاعدة القشرة وانما يقع بين ٦٠ — ١٢٥ ميلا تحت سطح الارض وبذلك يكون في الستار الارضي . ويبدو ان ارتفاع الضغط تحت هذا العمق يؤدي الى تصلب الصخور وذلك على الاقل في مواجهة التشوهات المفاجئة كالموج الزلزالية التي تنبعث من الزلازل العميقة،

وبالنظر الى المعلومات الاهتزازية المتفرقة بدأ التفكير بوجود طبقة ذات سرعة بطيئة في الجزء العلوي من السنار الارضي وقد جاء البرهان على ذلك بطريقتين : فقد اثبتت دراسة الامواج الزلزالية التي انبعثت من التفجيرات الذرية تحت سطح الارض وجود مناطق ظل تنشأ من انكسار الامواج عند نطاق السرعة البطيئة (الشكل (١٤ - ٥)) . وجاء البرهان الاخر من زلزال تشيلي الشديد عام ١٩٦٠ حيث لوحظ أن المنطقة فوق هذا النطاق كانت في اهتزازها أشبه بحركة الجرس وهو يقرع . وحيث أنه تمت البرهنة بذلك على وجود الطبقة الضعيفة المذكورة ، التي كانت مثار شكوك لمدة طويلة فانه بهذا اضيفت حجة أخرى لصالح نظرية التوازن . وتدل المعلومات الساييزمية على أن هذا النطاق يكون اقرب الى السطح تحت المحيطات مما يدل على أن الفروق بين القارة والمحيط مستمرة حتى تحت القشرة .

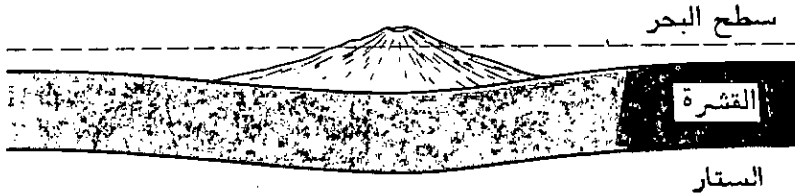


الشكل (١٤ - ٥) : كيفية التعرف على نطاق السرعة البطيئة في السنار العلوي .
الجزء (أ) يبين ممرات الامواج الساييزمية بدون وجود النطاق البطيء . الجزء (ب) يظهر بانينا
كيف يؤدي الانكسار في نطاق السرعة البطيئة الى تكوين منطقة ظل على السطح . ومن اجل
التبسيط تم حذف الانكسار الحاصل عند سطح عدم توافق وهو في الشكلين .

وهناك أدلة أخرى على وجود حالة التوازن نجدها في المناطق الجليدية على القارات ، وحول البراكين وكذلك عند أخذ قياسات عن الجاذبية الأرضية قرب السلاسل الجبلية . فقد كانت مساحات واسعة من الكرة الأرضية مغطاة بطبقات جليدية سميكة ابان العصر الجليدي الحديث وبعد ذوبانها بدأت الأرض بالارتفاع بعد أن كانت مضغوطة بفعل وزن الجليد ومن ناحية أخرى فقد يعود هذا الرفع في القشرة الأرضية الى اسباب مرتبطة بالضغط سواء كان لدنيا أو مرنا ولكن الحسابات تدل على أن تأثير ذلك ليس كافيا لرفع سطح الأرض بالمقدار الذي تم منذ نهاية العصر الجليدي كما أنها تدل على أن لنظرية حفظ التوازن دورا في هذا الرفع .

وجزر هاواي تتكون من مجموعة من البراكين الحديثة التي ضغطت بوزنها على القشرة فجعلتها تنحني الى اسفل مكونة خندقا عميقا حولها كما هو مبين في الشكل ١٤ — ٦ ، ويحدث مثل هذا ايضا على القارة حيثما تندفع البراكين فجأة ولكن الفتات الصخري يحول دون رؤيتها .

واما بالنسبة لقياسات الجاذبية الارضية التي تتأثر بدون شك بتوزيع الكتلة تحت نقطة القياس (فانها بعد استبعاد تأثير مستوى الارتفاع عليها ، وتأثير الكتل الجبلية القريبة منها) تظهر تعادلا في التضاريس بين السطح والعمق وهو ما يثبت صحة نظرية التوازن أيضا . ان في ذلك لدليلا على ان الحركات التي

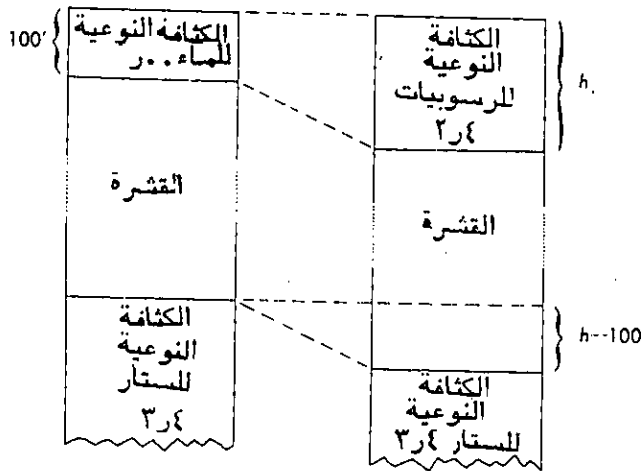


الشكل (١٤ — ٦) : يحدث هبوط في القشرة فوق الستار اللزج عند اضافة نقل مسابك البركان مثلا . وحالما تتم عملية حث ذلك الوزن ، فان القشرة تعود الى سابق مكانها . ومثل هذا الانخفاض حدث بالنسبة لجزر الهاواي وغيرها من جزر المحيط الهادي ، وذلك لان كمسلا منها محاط بحلقة من المياه العميقة .

تحدث في النطاق اللدن (٤) من الارض (والتي تحاول ان تحافظ على التوازن) انما هي سريعة نوعا ما بالمقاييس الجيولوجية .

اسئلة

- ١٤ — ١ ما اهم الخواص الطبوغرافية لسطح الارض وما الاهمية الجيولوجية لاهم خاصيتين منها ؟
- ١٤ — ٢ تتكون القارات من
- ١٤ — ٣ ماذا يقع تحت المحيطات ؟
- ١٤ — ٤ ما الدليل على وجود جذور للجبال ؟
- ١٤ — ٥ ما الذي يدعم القشرة الارضية ؟
- ١٤ — ٦ لماذا ترتفع القارات عن قيعان المحيطات ؟
- ١٤ — ٧ هل قوة الصخور هي التي تجعل الجبال ترتفع عن مستوى القارات العام ؟ برهن على ذلك .
- ١٤ — ٨ في أي عمق يحدث التعادل في التوازن ؟
- ١٤ — ٩ هل يمكن اعتبار عملية حفظ التوازن سببا في نشوء الاحواض الترسيبية ؟ وللإجابة على هذا السؤال لا بد من القيام بعملية حسابية بسيطة . فلنعتبر عمقا لحوض مليء بالماء يساوي ١٠٠ قدم في البداية . فإذا امتلأ هذا تماما بالترسبات . أحسب كم ينضغط الستار الأرضي بمعادلة الوزن الصافي للمواد الموجودة في داخل الحوض أي وزن الستار الأرضي المضغوط (الجواب ه = ٢٤٠ قدما) .



مراجع اضافية

Daly, R. A., *Strength and Structure of the Earth*. New York: Prentice-Hall, Inc., 1940, 434 pp.

Ewing, Maurice, and Leonard Engel, "Seismic Shooting at Sea," *Scientific American* (May, 1962), Vol. 206, No. 5, pp. 116-126.

Heiskanen, W. A., "The Earth's Gravity," *Scientific American* (September,

1955), Vol. 193, No. 3, pp. 164-174. Reprint 812, W. H. Freeman and Co., San Francisco.

Oliver, Jack. "Long Earthquake Waves,"

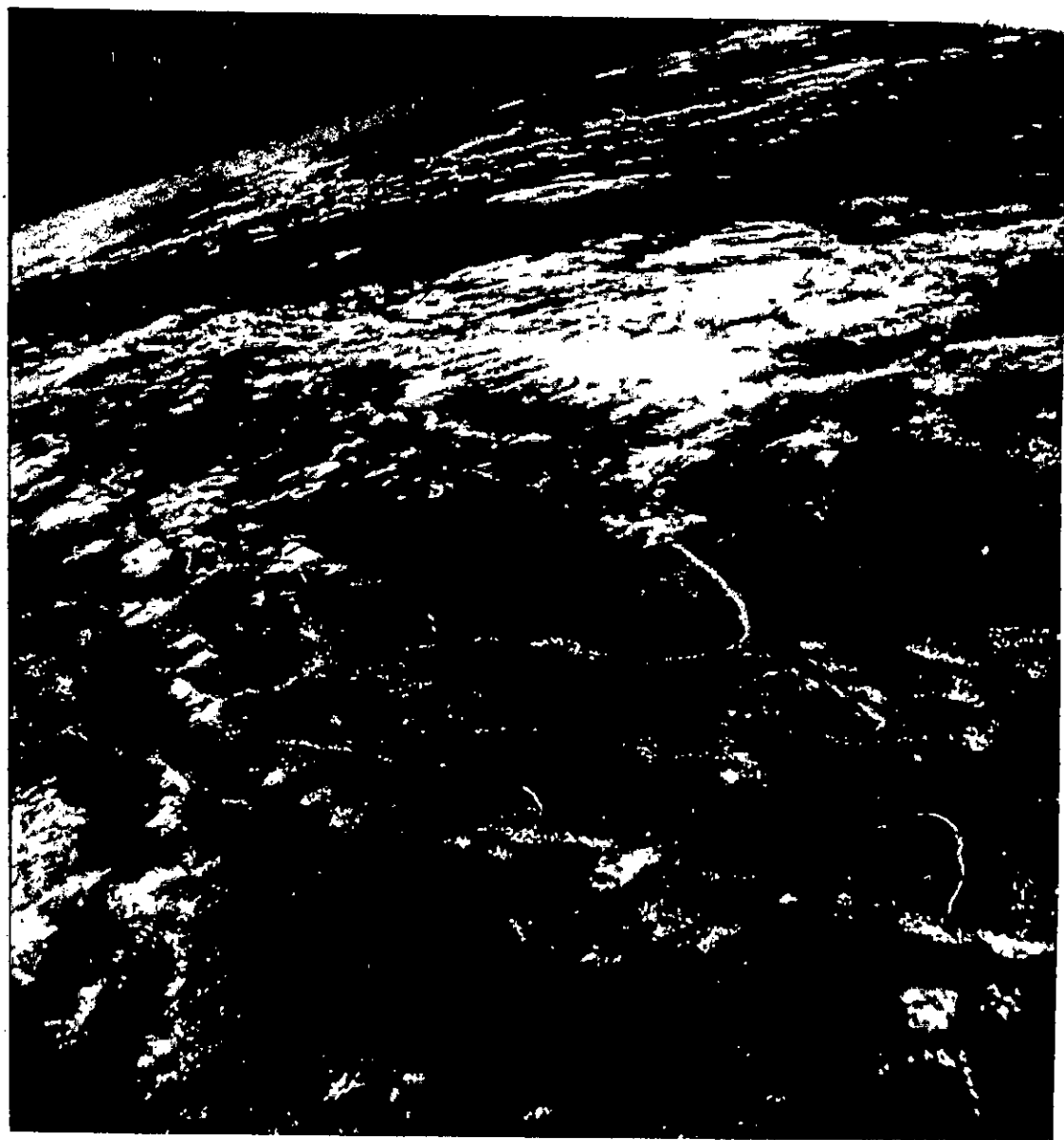
Scientific American (March, 1959), Vol. 200, No. 3, pp. 131-143. Reprint 827, W. H. Freeman and Co., San Francisco.

الفصل الخامس عشر القارات

The Continents

تشوية الصخور
الالتواءات او الطيات
الفوالق
الاستنتاج من الصخور المشوهة
المعالم القارية الكبيرة
الجبال
نظرية الجيوسنكلين - أصل الجبال
أمثلة على التركيب القاري
أسئلة
مراجع اضافية

10



تظهر القارات تراكيبا من مختلف المقاييس . فهناك الالتواءات والانكسارات وغير ذلك من تشويهات في الصخور شاهدها في بقاع صغيرة او كبيرة . وتكشف دراسة التشويهات الصخرية عن الكثير من المعلومات الخاصة بأنواع القوى المسببة لها . وتتواجد مثل هذه المعالم التركيبية في أحزمة معينة ذات بنية واسعة تمتد لتغطي مساحات من الاف الاميال وخصوصا في أحزمة السلاسل الجبلية . ويبرز من خلال الدراسة المستفيضة لها كثير من المعالم غير العادية مشيرة بذلك الى كيفية احتمال تكوين القارات . ولهذا فان هذا الفصل يبدأ أولا بمناقشة الظواهر التشويهية الصغيرة التي تسهل دراستها ثم تنتقل الى تلك التراكيب الكبيرة التي لا تخلو دراستها من تخمين .

تشويه الصخور

Deformation of Rocks

تنكسر الصخور أو تتشوه عندما تتعرض للضغط . ويكون رد الفعل عادة على أحد شكلين أن تتكون الفوالق أو تتكون الطيات . وكون الصخور تنكسر أو تنثني أنها يعتمد على قوتها وهذا بدوره يعتمد على نوعية الصخر والحرارة والضغط السائدين ، فنثني الضعيفة ، وتتصدع الهشة منها . كما أن الالتواءات تحدث أكثر في العمق بينما تتكون الفوالق غالبا قريبا من السطح .

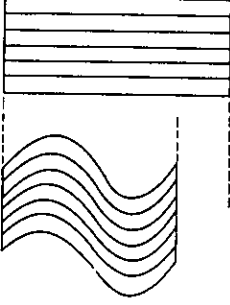
Folds

الطيات

يمكن معرفة بعض الحقائق العامة عن طبيعة القوى المؤثرة في تشكيل الصخور من دراسة الالتواءات (الطيات) والفوالق في الصخور . فالملتوية (أو طية) منها تدل بشكل عام على وجود قوى ضاغطة بحيث يصبح طول المساحة التي تحتلها الصخور الملتوية اقل مما كانت عليه قبل ذلك (الاشكال (١٥ - ١) و (١٥ - ٢)) .

وتكون الالتواءات (أو الطيات) على شكل محدب الى أعلى أو مقبوبة (١) .

كما قد تكون مفتوحة أو ضيقة (٢) . وتسمى الالتواءات (أو الطيات) التي تشبه

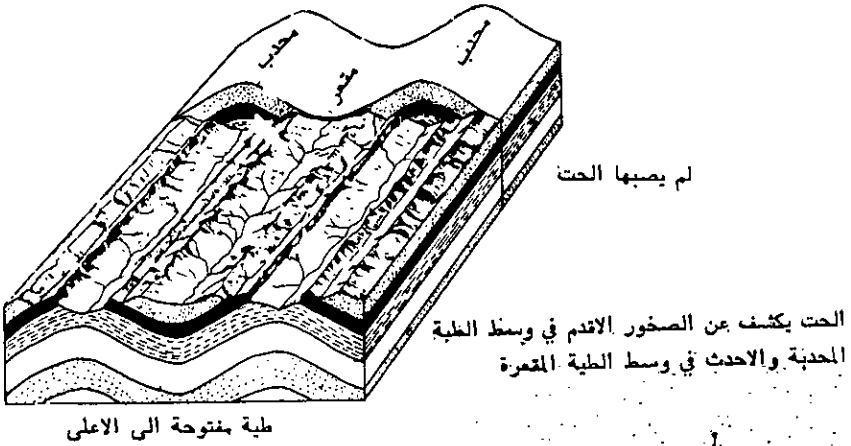


الشكل (١٥ - ١) : تحت الصخور
الملتوية حيزا أقل من الصخور غير الملتوية .



الشكل (١٥ - ٢) : الالتواءات تبدو جلية في الصخور الرملية الصلبة .

الاحواض في شكلها بالطيات المقعرة (٢) . وتلك التي تشبه التلال بالطيسات
المحدبة (١) . الشكل (١٥ - ٣) . ويمكن تعريفها على نحو أفضل لاسيما عندما
يكون الالتواء مقلوبا بحيث يكون الطرفان انقيبين . ففي الطيات المحدبة تكون
اقدم الصخور في المركز بينما في المقعرة نجد أحدثها في المركز . ويجدر بنا ان نتذكر
بان اقدم الصخور توجد في القاع عندما تكون الطبقات الرسوبية في وضع افقي .
ان الطيات (الالتواءات) ليست أفقية في جميع الحالات فقد تنحدر أو تغور

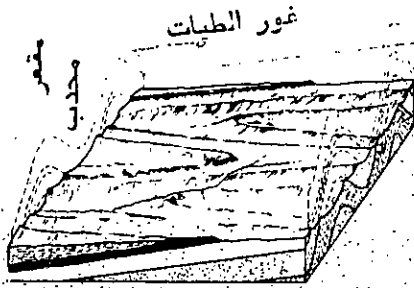


الشكل (١٥ - ٣) : أنواع الطيات .

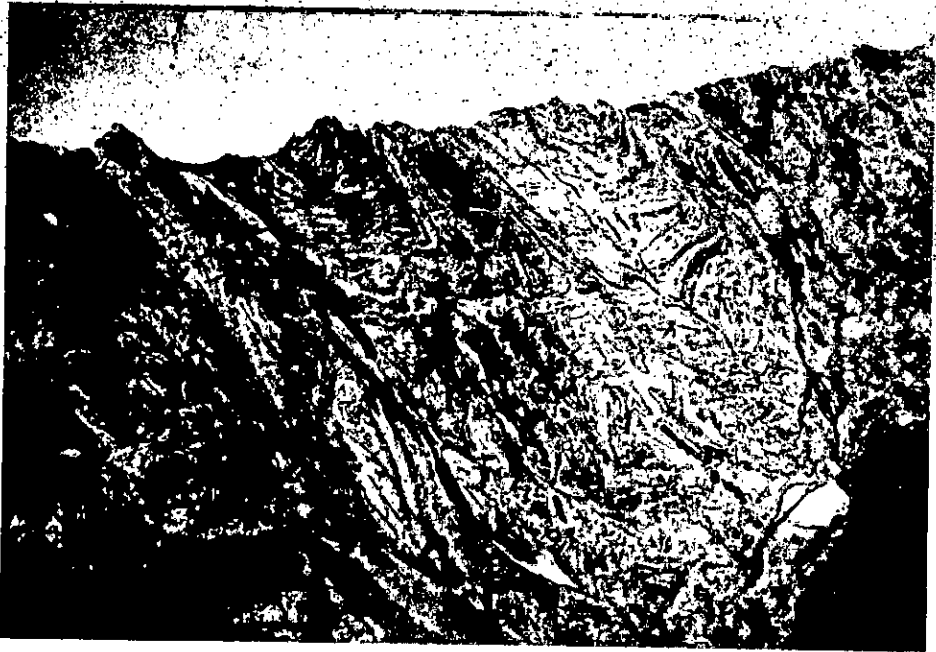


الشكل (١٥ - ٤) : صورة مأخوذة من الجو عاموديا لحدب يميل باتجاه ايسر الأسفل.

أحيانا كما هو مبين في الشكلين (١٥ - ٤) و (١٥ - ٥) . أما القبة (٥) فهي محدب تقصر المدى طرفاه غائران .



الشكل (١٥ - ٥) : طيات مائلية .
نسب التحت والتعوية تظهر في الصخور الحديثة
في مركز المقعر ، بينما نجد الصخور القديمة
في وسط المحدث .

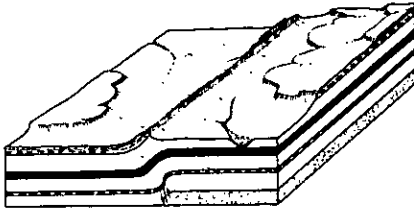


الشكل (١٥ - ٦) : صخور مطوية في جبال والووا ، أوريجون . ومثل هذا النوع غير منتظم الاتواء يعتبر شائعا . أما الاجسام الداكنة غير المستهرة فهي قواطع يبدو انها كانت قد نشأت قبل عملية الاتواء .

ان الصخور المختلفة لا تتفاعل مع نفس القوى المؤثرة عليها بنفس الطريقة
(انظر الشكل (١٥ - ٦)) ، فمثلا عند التواء سلسلة من الصخور الرملية

والطينية معا فان الطين الضعيف البنية ينساب الى قمم المكدبات والى قيعان الالتواءات المقعرة .

وهناك نوع خاص من الطيات يحدث في اغلب الحالات نتيجة للرفع العمودي . ويسمى بالطيات **وحيدة الميل** monocline (انظر الشكل (٧ - ١٥) ، وغالبا مايكون هناك فالق تحت مثل هذا النوع من الطيات . ومعروف بشكل عام أن رد فعل صخور القاع الهشة على القوى المؤثرة عليها يتمثل في تصدعها بينما تنتشي الطبقات الرسوبية الواقعة فوقها حيث انها اكثر مرونة .



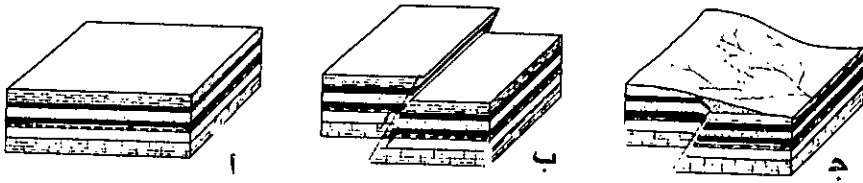
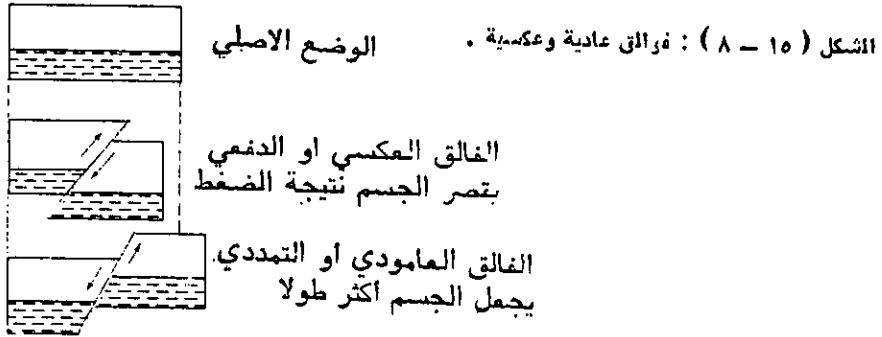
الشكل (٧ - ١٥) : طية وحيدة الميل .
ان هذا النوع من الطية عادة ما يكون نتيجة حدوث فالق في العمق .

Faults

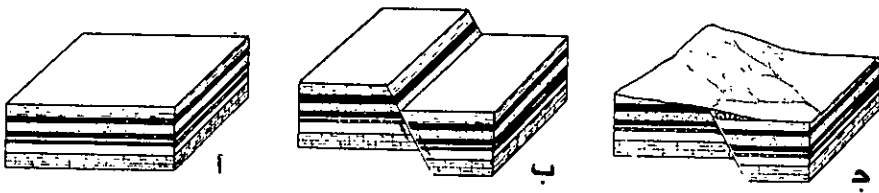
الفوالق

الفالق هو كسر في الصخور حدثت على امتداده حركة ويمكن تمييز اربعة انواع من الفوالق مع ان هذه تنقسم بدورها الى انواع كثيرة اخرى . وغالبا ما تحدث الحركة في نوعين من هذه الفوالق عاموديا ، بينما تكون افقية في النوعين الاخرين .

نرى في الشكل (٨ - ١٥) الفوالق ذات الحركة العمودية ونلاحظ هنا كما في الشكل (٩ - ١٥) ايضا أن **الفوالق العكسية** (٦) تنتج عن الضغط فتتصرف مسافة القشرة نتيجة لهذا النوع من التصدع . أما **الفوالق العادية** (٧) فانها تزيد في طول القشرة . ولذا فهي ذات خاصية تمددية . وتجدر الإشارة الى ان كلمة عادية بالنسبة للفوالق او الصدوع لا تعني انها موجودة اكثر من غيرها . ولذا فهذا تعبير ركيك ، غير انه في الوقت الذي شاع فيه استعمال هذا الاصطلاح كان يعتقد بأن هذه الصدوع توجد في الطبيعة اكثر من غيرها . ولهذا فان الاصطلاح ليس الا خطأ تاريخيا وان الظواهر الناتجة عن الضغط كالطيات والفوالق العكسية هي اكثر انتشارا . وهذا يدل على أن معظم القوى التي تصاحب



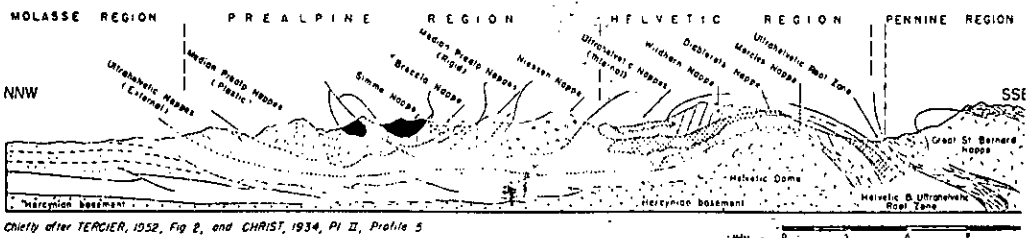
المشكل (١٥ - ٩) : كيفية تكون الفالق العكسي . الخطوة (ب) لا يمكن العثور عاها في الطبيعة لان الحث يأتي على الجزء المرتفع . في (ج) نرى التواء في الطبقات عند منطقة الفالق .



المشكل (١٥ - ١٠) : كيفية نشوء الفالق المعادي . ويبدو ايضا الالتواء في الطبقات في منطقة الفالق في المشكل (ج) .

تكوين الجبال (٨) انما هي ناجمة عن الضغط بينما يرافق الفوالق العادية التمدد الذي ينتج بفعل القوى الراسية كما هو الحال في المرتفعات (٩) اكثر من كونها ناجمة عن تمدد القشرة الارضية افقيا ومع انه لم يؤخذ الا القليل من التراءات عن الاجهاد (١٠) في الصخور الا انه حيثما اخذ قياس الاجهاد الراسي كان مقداره الفعلي اكبر مما هو متوقع نظريا بشكل عام وذلك بسبب وزن التتابعات

الصخرية وهذا دليل على وجود القوى الراسية في القشرة الأرضية .
أما الفوالق الدفعية (١١) فتكاد تكون مستوية السطح ولذا نجد حركتها أفقية غالبا . ومع أن هذا التعريف قد يقود المرء للاعتقاد بأنها عبارة عن حالة خاصة من الفوالق العكسية إلا أنها في الواقع مختلفة تماما . وهذا لا يعني أنه ليس هناك حالات متوسطة يمكن استخدام كلا الاصطلاحين فيها . ونجد فوق كثير من الفوالق الدفعية مجموعة من الطبقات تحركت مسافات بعيدة . وتكشف الأمثلة المأخوذة من ذلك عن مشاكل حقيقية . والنسب في هذا يعود إلى إمكانية حساب الاحتكاك الكبير الواقع على سطح الفالق بحيث تتسبب القوة الكبيرة اللازمة لتجاوزه في تكوين التواءات على مجموعة الطبقات العليا عند تحريكها . وسنناقش هذا فيما بعد . وفي أماكن أخرى تشارك الصخور القاعدة في عملية تكوين الفوالق الدفعية مبنية بوضوح الانضغاط والتقصان في طبول القشرة الأرضية . كما أن هناك الفوالق الدفعية التي تكونت نتيجة الالتواء المتناهي بحيث يتم رفع الجناح السفلي للطية وفصله من مكانه على امتداد الفالق الدفعي . وقد يحصل مثل هذا على عمق كانت فيه الصخور لدنة ولذا نجد الصخور متحولة في وسط الطيات . والحقيقة أن جبال الألب الأوروبية تعتبر مثل النموذجي على التراكيب المندفعة حيث نجد هناك كما يرينا الشكلان (١٥ - ١١) و (١٥ - ١٢) سلاسل جبلية تشكل الصفائح المندفعة والطيات العظيمة النائمة (١٢) التي تحركت من مكانها مسافة أميال عديدة ثم تراكمت بعضها فوق بعض .

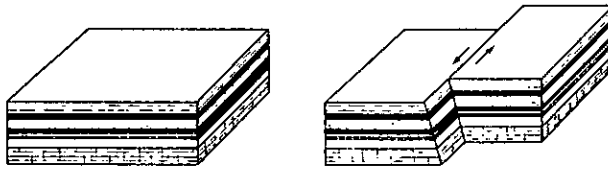


الشكل (١٥ - ١١) : مقطع رأسي من جبال الألب . والاصطلاح المستعمل في جـ : أن الألب لصخور فوالق الدفع العلوي هي ((الصخور المفترية)) أو Nappe . لاحظ المسافات البعيدة التي رحلتها الصخور الدفعية العلوية .



الشكل (١٥ - ١٢) : قمة بلانوس في الالب - جنوب اوزان - سويسرا . ونرى طية مقعرة تمثل قمة الجبل وهي مصحوبة بالتصدع . اما الطبقات غير المتوافقة في اليسار فانها تعتبر على الاغلب صخورا غريبة عن المقعر .

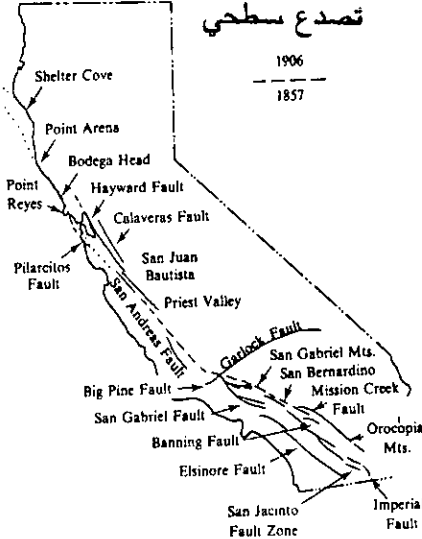
اما النوع الثاني من الفوالق ذات الحركة الافقية فيسمى **بالفوالق الجانبية** (١٣) (انظر الشكل (١٥ - ١٣)) مع انه استعملت تسميات اخرى لمثل هذه الفوالق كالازاحة في اتجاه المضرب (١٤) او الفالق الملوحي (١٥) او الاندحام (١٦) وعموما تكون الفوالق الجانبية عامودية تقريبا وتصاحبها ازاحة كبيرة ويعتبر فالق سان اندرياس في كاليفورنيا مثلا على هذا النوع (انظر الشكلين (١٥ - ١٤)



الشكل (١٥ - ١٣) : فالق « صدع » جانبي .

و (١٥ - ١٥) وهو فالق يزيد طوله عن (٦٠٠) ميل وتقدر مسافة ازاحته الجانبية الكلية بحوالي (٣٥٠) ميلا . غير أن العديد من الجيولوجيين الذين درسوه يعتقدون بأن ازاحته الجانبية هي اقل من ذلك بكثير بينما يعتقد بعض

الشكل (١٥ - ١٤) : فالق سان اندرياس
والفوالق المحاذية له ترمز الحركات السطحية
خلال التاريخ .

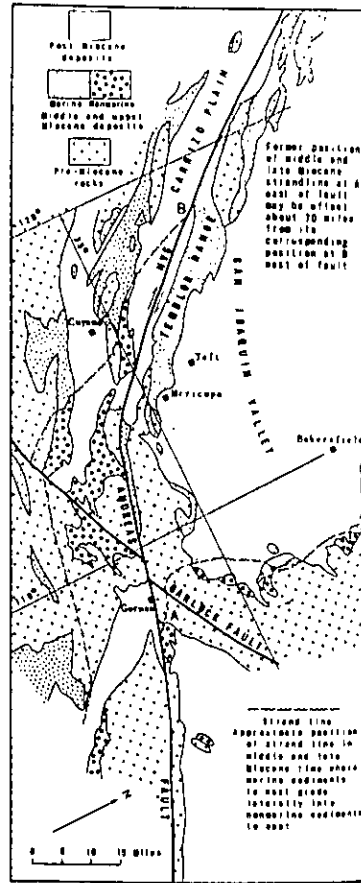
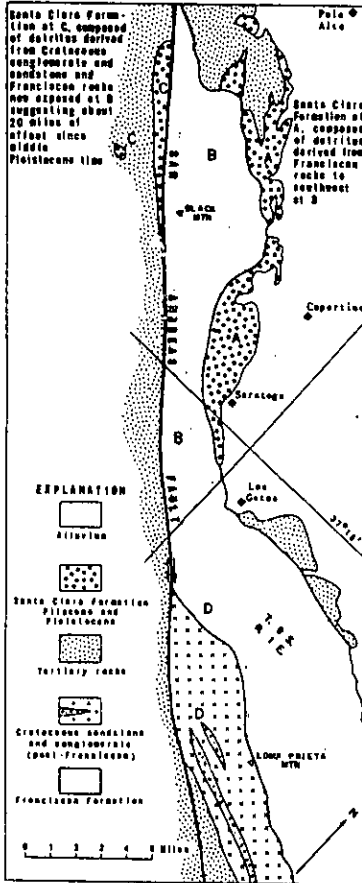


آخر بان الحركة الرئيسية كانت عمودية (انظر الشكل (١٥ - ١٦)) . وجدير بالاهتمام أن مراكز الزلازل الارضية على هذا الفالق تقع في عمق يتراوح من خمسة الى ستة أميال ، وربما يدل هذا على تكوين الفالق الطويل قريبا من السطح . ولأن معظم الفوالق الجانبية اصغر من ذلك بكثير فانه من الصعب البرهنة على وجود أراحة ذات مسافة طويلة على امتدادها . غير أنه يعتقد بوجود فالق رأسي من هذا النوع في جبال سانجر دي كرسنتو في نيومكسيكو بازاحة افقية تبلغ (٢٣) ميلا وذلك بالنظر الى المسافة الفاصلة بين كتلة مميزة من الصخور المتحولة . أما الفوالق الجانبية التي تبدو وكأنها تفصل بين ظواهر بحرية في المحيط فانها ستكون موضوعنا في الفصل السادس عشر* .



الشكل (١٥ - ١٥) :
صورة من الجو لفالق
سان اندرياس ،
كاليفورنيا . وتمثل
منطقة الفالق المكسرة
خطا يقطع الصورة ويمر
شارع فوق الفالق في
مقدمة الصورة .

* ومن الامثلة على ذلك فالق غور الاردن ووادي عربة والذي يستمر في البحر الاحمر جنوبا ، أما شمالا فيصل الى حدود تركيا مارا بسهل البقاع في لبنان ثم سوريا . وتقدر الحركة الجانبية منه حسب اخر المعلومات بحوالي ٧٥ كم (المراجع) .



الشكل (١٥ - ١٦) : البرهان على حركة فالت سان اندرياس :

الخريطة (ا) تبين منطقة شرقي فالت بيلا - كيتوز الذي ظهر في الشكل (١٥ - ١٤) .

الخريطة (ب) تبين منطقة الاتصال مع فالت جارلوك .

وكما نرى أثناء تحديد الأزمنة الجيولوجية في الشكل (١٩ - ١) فإن عمر الميلاستوسين

الأيوسط كان قبل نصف مليون سنة مضت ، والميلايوسين الأيوسط ٢٠ مليون سنة . فهل تعتقد

بأن هذا في حد ذاته يعتبر دليلاً على حدوث حركات على فالت سان اندرياس ؟

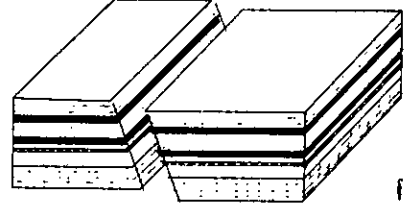
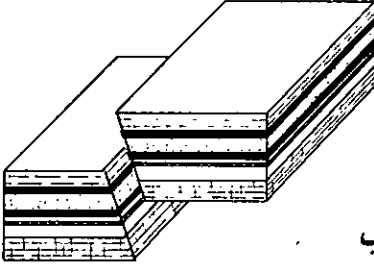
وليست الحركة على معظم الفوالق من النوع الذي إما أن يكون رأسياً أو أفقياً

وانها هي حركة مائلة (١٧) (انظر الشكلين (١٥ - ١٧) و (١٥ - ١٨) .

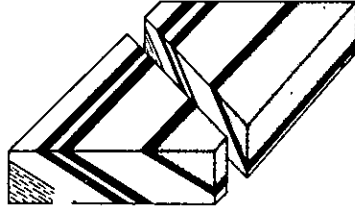
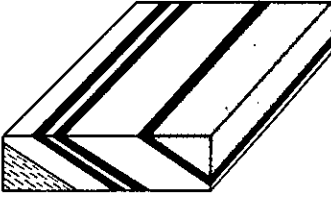
ويتضح هذا من دراسة الاخاديد والحزوز على سطوح الفوالق وهو ما يدل على

اتجاه الحركة الأخيرة . ومن المفروض أن يكون قد اتضح من الفصل الثالث عشر

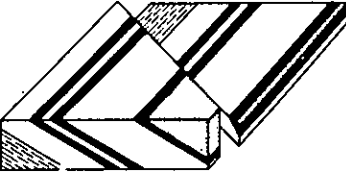
بأنه يتكرر حدوث الحركات على امتداد معظم الفوالق بحيث تكون الخدوش معالم



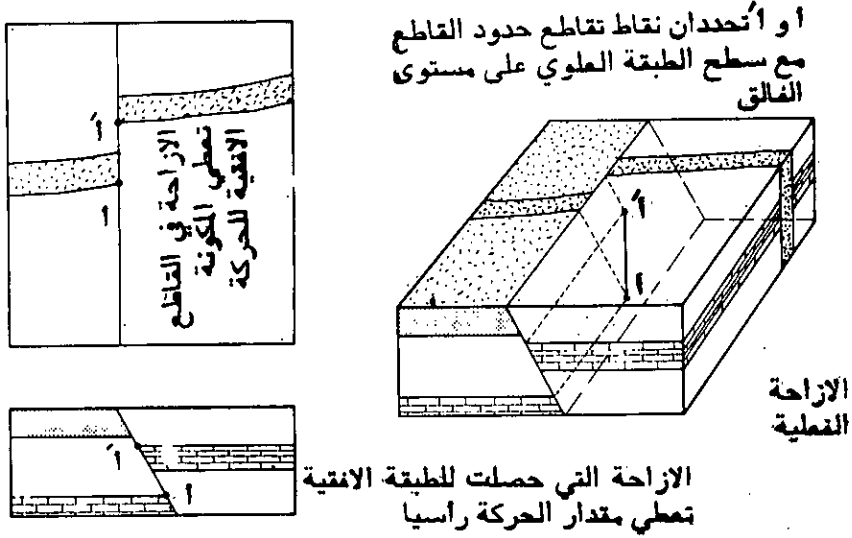
الشكل (١٥ - ١٧) : فوالق ذات حركات مائلة .
(أ) - فالق عادي مصحوبا بحركة جانبية .
(ب) - فالق عكسي مصحوبا بحركة جانبية .



الشكل (١٥ - ١٨) : نماذج فوالق
في الصخور على الخريطة . الجزء (أ) يبين
المجسم في حالة البداية . الجزء (ب) يظهر
الحركة المأمودية المنحرفة على الفالق . والجزء
(ج) يبين نفس المنطقة بعد أن تم حتمها
وتسويتها . هل يمكن تقدير الحركة الفعلية
على امتداد الفالق من هذه الخريطة وحدها ؟



لاخر حركة حصلت . وعموماً إنه ليس من الممكن تحديد مقدار الحركة على
الفوالق بدقة . ولتعيين الحركة بالضبط لا بد من البحث عن نقطتين على جانبي
الفاالق كانتا قبل حدوثه متحديتين في نقطة واحدة (انظر الشكل (١٥ - ١٩))
ومن اجل ذلك نبحث بوجه عام عن المعالم المسطحة فقط كالطبقات الرسوبية او
القواطع (١٨) مع ان مثل هذه المسطحات لا تعطي دائماً نتائج واحدة لمسألة الحركة
الحقيقية . كما ان لبعض الفوالق سطوحاً منحنية . وما يجعل موضوع الحركة
اكثر تعقيداً تشابه الصخور قرب الفالق . وعلى الفالق نفسه تسحق
الصخور وتطحن بسبب الحركة مكونة ما يسمى بطين الفوالق (١٩) وهو نوع



الشكل (١٥ - ١٩) : تحديد مقدار الحركة على الفالق . في معظم الحالات ، تكون إحدى الملامح المستوية واضحة فقط ، كوجود ازاحة في قاطع مثلا أو طبقة رسوبية . ومثل هذه الملامح تظهر فقط عنصرا واحدا من الحركة . وفي هذه الحالة المبينة بالشكل تحسب كمية الزاحة الفعلية بإيجاد مقدار ازاحة تقاطع القاطع مع إحدى الطبقات . وفي الواقع أن القياس في هذه الحالة يتم بإيجاد المكونة الأفقية للحركة بقياس المسافة الفاصلة بين طرقي القاطع ، والمكونة العمودية بقياس مقدار الزاحة بين الطبقات الأفقية . والنموذج هنا يعبر عن حالة مثالية ، حيث أن الصخور في معظم الأحيان أكثر تشويها وخاصة بالقرب من سطح الفالق .

من الصخور المتحولة كان قد مر وصفه في الفصل الخامس بينما قد يحدث إعادة تبلور عند الفوالق العميقة . وتلتوي الصخور عادة بسبب الحركة بالقرب من الفالق وتنسحب بحيث يصبح من الصعب جدا إعادة تصميم الوضع الهندسي العام كما كان قبل حدوث الفالق .

والقواصل (Joints) شقوق أو كسور في الصخور لم يحدث على امتدادها أية حركة . وأنه لمن الممكن التأكد في بعض الحالات من أن الأسباب في نشوئها ونشأة الفوالق والطيات (الالتواءات) هي واحدة . ومع أن المصدر ليس معروفا دائما إلا أن الفوالق تنتشر في معظم الصخور . وتوجد نواصل في الصخور المتكونة في العمق كالبازلتي ، ونجدها عادة موازية لسطح الأرض . ويعود هذا إلى تمدد الصخور حينما يتم تعريضها من الصخور المتراكمة فوقها (انظر الشكل (٤ - ٢)) .

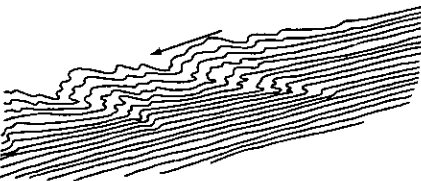
الاستنتاج من الصخور المشوهة

Inferences from Deformed Rocks

يمكن استنتاج الكثير عن القوى الكامنة في القشرة الأرضية من خلال دراسة الصخور المشوهة فقط . ومن ذلك أهمية الضغط في تكوين الطيات (الالتواءات) والفوالق المعكوسة في الصخور . وتتضح هذه النتيجة في المناطق التي تلتوي فيها صخور القاعدة المتحولة ذات الصلابة العالية أو تندفع من مكانها جنباً إلى جنب مع الصخور الرسوبية اللينة . وفي مناطق أخرى لا يحدث الانضغاط إلا على الصخور القريبة من السطح بينما يحدث تشويه في الصخور العميقة وهذا هو حال بعض الفوالق الدفعية حيث تكون قوة الصفيحة العلوية ليست كافية لمقاومة الضغط اللازم لدفعها . وربما يؤدي الرفع (٢٠) في مثل هذه الحالات إلى تكوين منحدرات تنزلق أجزاءها إلى الأسفل بتأثير وزنها نفسه . وعملية كهذه ممكنة الحدوث ميكانيكياً حتى على المنحدرات الخفيفة الميل . كما أنه من الممكن أن تتسبب الانزلاقات على المنحدرات في التواء الطبقات اللينة وهو ما يمكن رؤيته على نحو مصغر في بعض الطبقات الرسوبية (انظر الشكلين (١٥ - ٢٠) و (١٥ - ٢١) . وهناك وسيلة أخرى لتفسير سبب تكوين الفوالق الدفعية . وهي تكمن في أن الصخور على نحو ما تطفو أو تعوم ، على

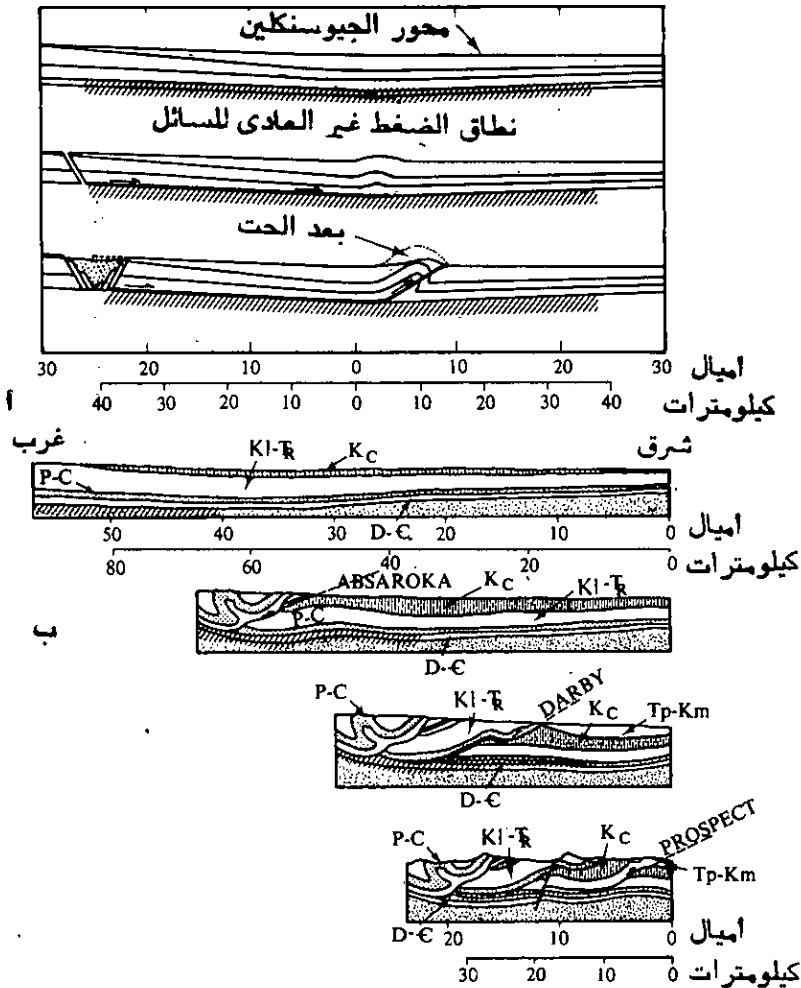


الشكل (١٥ - ٢٠) : فالق عكسي
جاذبي . لقد انكسرت الصخور وانزاحت على
المنحدر .



الشكل (١٥ - ٢١) : التواءات بفعل
الجاذبية . أن الصخور اللينة تميل إلى
السيلان على المنحدرات مما ينتج عنه حدوث
التواءات .

الانثا ولو جزئيا ، بسبب تواجد الماء بداخلها . وضغوط الماء العالية التي اخترقتها بعض الابار تدعو للاعتقاد بأن هذه العملية محتملة الوقوع . فاذا استتبمسدت فاعلية وزن الصفيحة العليا بهذه الطريقة فان ذلك يكون مدعاة لتقليص تيمسمة قوة الاحتكاك الناتجة ، فتؤدي قوة صغيرة جدا عندئذ الى حدوث الحركة . وتجري التجارب حاليا على هذه النظرية (انظر الشكل (١٥ - ٢٢)) .



الشكل (١٥ - ٢٢) : الدور المحتمل لضغط السوائل في حدوث الفوالق العكسية المندفعة :

(١) - رسم نموذجي يظهر منطقة ضغط السوائل غير العادية ومكان احتمال حدوث الفالق .
(ب) - اقتراح يبين كيفية حدوث حزام الفوالق المندفعة في ويومنغ الغربية والتي قد تكون نتجت عن حدوث ضغط سوائيل غير عادي . الحروف تبين أنواع الصخور المختلفة .

انه لمن السهل البرهنة على حدوث الحركات العمودية في القسارات ، فالترسبات البحرية الموجودة عاليا في السلاسل الجبلية هي برهان بكل تأكيد على مثل هذه الحركات . كما أن الصخور النارية والمتحولة ، التي تتكون عادة في أعماق الارض والتي هي الان مكشوفة على السطح في تلك الجبال تبرز بوضوح عملية الرفع . ونجد ايضا دلائل أخرى على الحركة العمودية في الشواطئ التي قصتها الامواج والتي ارتفع مستواها فيها بعد ، كما ورد في الفصل الحادي عشر . وتدل وقوغ بعض المناطق تحت مستوى سطح البحر على حدوث حركة عمودية الى اسفل فيها ، كما هو الحال في وادي الموت . والعامل الوحيد الذي يمكن اخذه في الاعتبار في تكوين هذا الوادي بطريقة الحث هو الريح ، الا انه اضعف بكثير من أن يفعل مثل هذا .

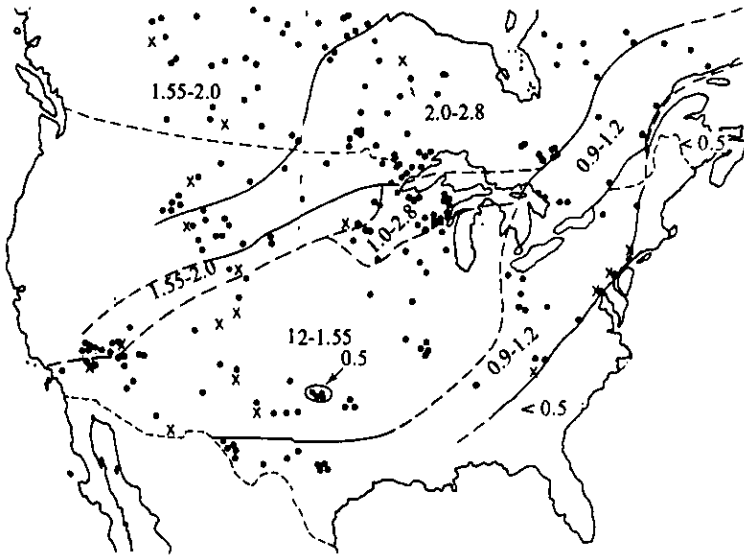
ومع أن معظم ما لدينا من براهين عن القوى الموجودة في القشرة الارضية انها هو نابع من دراسة الصخور التاريخية الا انه يمكن رؤية بعض الحركات مباشرة . والفوالق الحديثة العهد الناتجة عن الهزات الارضية ترى الحركة السريعة بنوعها ، الامنية منها والعمودية . كما انه تم حديثا أخذ قياسات اثناء عمليات المسح تدل على حدوث زحف بطيء ايضا كما سبق وراينا في الفصل الثالث عشر . وفي الفصل التاسع عشر سنقدم شرحا عن تاريخ الطيات والفوالق ، اما اسبابها فستكون موضوعا يبحث خلال السؤال الثامن عشر في نهاية هذا الفصل . وقد كنا شاهدنا في الجزء الاول من هذا الكتاب انواعا أخرى من التشويه الناجم عن عمليات تكوين الصخور النارية والمتحولة . وتشكل هذه العمليات بشكل عام جزء من عمليات تكوين الجبال التي تتسبب بنشوء الطيات والفوالق . وفي الفصل القادم سنعرض لبعض العلاقات بين هذه العمليات .

المعالم القارية الكبيرة

Larger features of the continents

ان اكثر المعالم القارية وضوحا هي الارصفة القارية المسطحة نسبيا ، والاحزمة الجبلية الممتدة طوليا (انظر الى الخريطة في نهاية الكتاب) . لقد كانت اول فكرة عن اصل القارات مبنية على انها نشأت عندما بدأت الارض في التصلب .

وكشفت دراسة الاجزاء القديمة من القارات عن أن اقدم صخورها ليست الا صخورا متحولة ، اصلها رسوبي ناتج عن حت اسطح اقدم . وبشكل عام لقد دلت الاعداد المؤخوذة بواسطة المواد المشعة على أن اقدم الصخور محاطة بأحزمة من صخور احدث عمرا وهذه بدورها تحيط بها صخور اكثر حداثة . وبما أن لكل من هذه الاحزمة تركيبات تشبه اجزاء من مناطق جبالنا الحالية فانها من المحتمل أن تكون بقية من جبال قديمة تعرضت للحت . (انظر الشكل (١٥ - ٢٣)) . ولهذا يمكن اعتبار الجبال وسيلة لتفهم التراكيب القارية .



الشكل (١٥ - ٢٣) : توزيع اعمار صخور القاعدة الخاصة بالجزء الاوسط من أمريكا الشمالية . الحلات : الاعداد المحصورة داخل حدود تخص نطاقا معينا على الخريطة . أما المصدايق فتشير الى اعمار خارج تلك الحدود . حدود الاعداد معطاة في مليارات السنين .

ويوحى هذا الاكتشاف بأن العمليات الدائرة حاليا على سطح الارض انما هي تكرار لاحداث مماثلة منذ تكوين القشرة مع احتمال كون القارات نشأت بالنمو . وتعود اقدم صخور تم اكتشافها حتى الان لعمر يقارب ٣ مليار عام مما يوحى بأن عمر الارض يتراوح بين (٤ - ٦) مليار سنة .

ولهذا فان عملية تكوين القارات قد تكون مستمرة ويمكننا البحث عن اثبات لذلك عند الاطراف النشطة لبعض القارات ، كما هو الحال على الشواطئ

الغربية لأمريكا الشمالية ، حيث يتركز معظم النشاط الزلزالي والبركاني في الوقت الحاضر . على كل حال ، بها انه لتقييم ملاحظتنا يجب الحصول على المزيد من المعلومات فانه يتعين علينا دراسة الصخور القديمة نسبيا . فبهذه الطريقة سنتعرف على بعض التراكيب في الصخور القديمة ، بعدئذ سوف ننظر في الاماكن التي تحتوي على تراكيب مماثلة وهذه قد تكون في حالة التكون الان .

Mountains

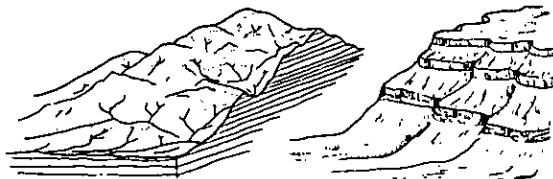
الجبال

هي عبارة عن ملامح طوبوغرافية يرتفع مستواها بسرعة تقريبا عما حولها . ويرينا الشكل (١٥-٢٤) اشكالا مختلفة من هذه الجبال . وهذا التعريف وتلك الاشكال لا تؤكد اهمية العنصر الرئيسي في الجبال الا وهو تشويه الصخور المكونة لها . ومع اننا نرى في الشكل (١٥-٢٤) بعض انواع من الجبال بسيطة التكوين الا ان ذلك قليل نسبيا ، فمعظمها يتكون من سلاسل جبلية من النوع المعقد .

ولهذا فان للسلاسل الجبلية تركيبا داخليا معقداً تكون من الطي والتصديق والنشاط البركاني وتداخل الصخور النارية وتحول الصخور . وبشكل أو باخر فان الجبال المعقدة هي من النوع الذي يحتوي على طابع الجبال المتبقية ايضا . ويختلف منشأ التركيب الداخلي للجبال عن منشأ المظهر الطوبوغرافي لها .



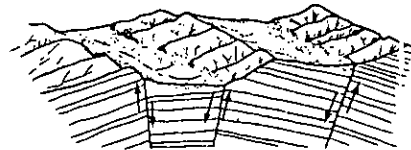
بركان



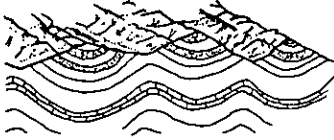
باق ، حت عميق في صخور غير مشوهة



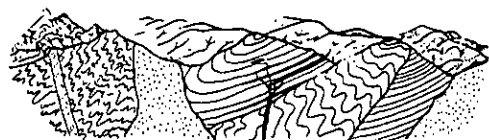
قبة ، طبقات متوسة الى اعلى



معلق



طية



معقدة

الشكل (١٥ - ٢٤) : انواع الجبال .

فالجبال الطبوغرافية تكونت بالرفع والحت فهي متبقية اذا . وهكذا تبدأ معظم السلاسل الجبلية بتكوين تركيبها الداخلي حسب النوع المعقد ثم نتيجة للرفع والحت فيما بعد تأخذ هذه الجبال طابعا طبوغرافيا ، فلها تاريخ ذو مرحلتين . وبعد أن يكون عمل الحت قد انتهى تماما نستدل على وجود الجبال سابقا فقط من الصخور المشوهة . اننا سنواجه مشكلة تاريخ نشوء الجبال في الجزء الرابع من هذا الكتاب ، ولكننا سوف نسجل هنا بعض الصعوبات في ذلك حيث انه هناك ثلاثة تواريخ معينة : —

١ — عمر تكوين الصخور .

٢ — عمر التركيب الداخلي .

٣ — تاريخ الرفع عندما تكونت الجبال الطبوغرافية نتيجة للحت .

وعموما فان التركيب الداخلي يحدث على عدة مراحل مما يستوجب تأريخها جميعها . وتحديد كل من هذه التواريخ يتضمن في الواقع مصاعب جمة سنأتي عليها في الجزء الرابع .

Geosyncline Theory— Origin of Mountains

نظرية الجيوسنكلين — أصل الجبال

في عام (١٨٥٩) طرح ألبولوجي الأمريكي جيمس هول ، الذي قام بدراسات هامة عن المستحاثات ، ملاحظة قيمة . لقد اكتشف بأن سمك صخور الجزء الشمالي من جبال الابالاشيان يزيد كثيرا عن مثيلاتها من نفس العمر الموجودة بعيدا في داخل القارة ، كما انها اكثر منها فتاتية . وبكلمات اخرى ان الجبال الحالية تقوم في موقع ذي حوض اكثر عمقا بكثير من ذلك الذي في الغرب (انظر الشكل (١٥ — ٢٥)) .

ثم جاء جيمس دوايت دانا وجعل هذه الملاحظة تزداد شمولا واثبت انها تنطبق على كل جبال الابالاشيان . وتمخضت دراساته عام (١٨٧٣) عن اطلاق اسم الجيوسنكلين (٢١) على حوض الترسيب عندما يكون مستطيلا ثم يلتوي ويتصدع فيها بعد ويرتفع مكونا سلاسل جبلية وقد تم الحصول على مشاهدات



الشكل (١٥ - ٢٥) : الصخور الرسوبية ذات العمر الواحد تكون أكثر سمكا وكلاسيكية في السلاسل الجبلية منها في دواخل القارات .

مثل هذه في جميع انحاء العالم اي ان كثيرا من سلاسل الجبال الحالية كانت فيما مضى احواضا مستطيلة او جيوسنكلينات .

لقد ذكرنا سابقا ان اجزاء من بعض السلاسل الجبلية التي تنشأ في الجيوسنكلينات تتكون من صخور متحولة ومن كتل ضخمة من الصخور الجرانيتية المتداخلة المسماة (باثوليت) ومثل هذه الصخور تشكل اقدم الاجزاء في القارات وهي ما تسمى احيانا بصخور القاعدة لانها تشكل عادة اساسا لقشرة رقيقة من الرسوبيات ضمن الاجزاء الثابتة من القارة .

لقد تضافرت كل هذه المشاهدات لتبرز للوجود نظرية الجيوسنكلين . ونقدم فيما يلي وصفا لنموذج من ذلك . يبدأ هذا بتكوين منخفض عريض ومستطيل يقع عادة على حافة القارة وتكون قد غمرته مياه البحر . ولان للجيوسنكلينات مفعولا كالمصيدة تجاه الترسيبات فان عملية الترسيب تبدأ حالما يبدأ التآكل الى اسفل . وتكون هذه الجيوسنكلينات عادة واسعة ذات طول يصل الى كثير من مئات الاميال وعرض يصل الى بضعة مئات من الاميال .

وبالرغم من السمك العظيم للصخور في الجيوسنكلينات فان هناك ادلة كثيرة على ان المياه لم تكن في وقت ما ذات عمق كبير . فالحواض المتقاطعة وعلامات التمججات والتشققات الطينية وانواع الكائنات المتحجرة التي تظهر في هذه الصخور ما هي الا معالم لما نجده في ايامنا هذه في المياه القليلة العمق نسبيا . ولهذا فان الازدياد الكبير في سماكة الصخور الرسوبية لا بد وان يعود الى الاستمرار في هبوط الالتواءات طالما كان هناك مواد ترسيبية للملأ . وفي بعض الاماكن توجي المعالم في الجزء البركاني او النشط من الجيوسنكلين بإمكانية كون الماء عميقا هناك احيانا . فبالاضافة لوجود مستحاثات من النوع الذي يعيش في

المياه العميقة فان معالم أخرى مثل التطبيق المتدرج ، وكذلك (الاقنية) حيث تنزلق المواد الطينية في الماء على السفوح الى اسفل ، كلها تدل على مياه عميقة نسبيا ومعروف أن مثل هذه الانزلاقات تحصل في ايامنا هذه على المنحدر بين الجرف القاري والمحيط العميق ومن المهم أن نعرف أنه له يكن ممكنا تمييز اي من الترسبات البحرية العميقة كتلك التي تتكون حاليا بعيدا في اعماق المحيط في الصخور القديمة ، وربما يعود ذلك الى أن مثل هذه الترسبات تكون رقيقة ولذا صعوبة التمييز . وتتكون الرسوبيات البحرية العميقة الحالية من اصـداف الحيوانات الصغيرة جدا التي تعيش قريبا من السطح وكذلك من الغبار البركاني الذي يترسب في المحيط . والرسوبيات التي تكونت بهذه الطريقة تسمى الرزغيات (٢٢) اذا احتوت ضمن مكوناتها اكثر من (٣٠)٪ من المواد الحبيسة الاصل .

أما الاختلاف البيئي فانه يظهر من اختلاف الترسيب . وكما يتبين في الشكل (١٥-٢٦) فان طرف الجيوسنكلين يستدق تدريجيا مكونا الجرف الذي يشكل حافة القارة . وللقارة في معظم الحالات تضاريس خفيفة وهو ما يتبين من الترسبات (الصلصال والصخر الجيري والكوارتز النقي) التي تتكون على الجرف . ومثل هذه الترسبات تدل على تجوية تامة . وتبدو الصخور الرسوبية التي تتكون في الجيوسنكلين المجاور في نفس الطراز الا انها هنا اسك من تلك بكثير ويرجع السبب في هذا الى هبوطها العظيم . ومن ناحية أخرى فان الجزء البركاني في الجيوسنكلين هو مكان الترسيب السريع حيث الانخفاض السريع والازدياد المفاجيء في العمق . وعلاوة على الصخور البركانية فان هناك الترسبات التي تراكت بسرعة كبيرة ثم انطمرت بسرعة قبل أن تصنف نفسها ، وهي من الصخور الفتاتية كالغضار غير النقي ، والصخور الرملية الداكنة ذات الارضية الطينية (الجروك) وكذلك الصخور الفتاتية الخشنة .

يعتبر مصدر هذه الصخور الفتاتية مشكلة ، فبعض منها قد يأتي من القارة اما الكمية الاساسية فلا بد لها من مصدر على الطرف الاخر من الجيوسنكلين . وتزداد المشكلة تعقيدا كما سوف نرى نتيجة لما يتبع ذلك من نشاط تحولي وناري حيث تخفي بذلك معالم المرحلة الاولى في هذا الجزء من الجيوسنكلين . وبما أن



- ١ - في البداية مرحلة الترسيب .
- ٢ - تحدث خطوات تكوين الجبال Orogeny مصدوبة بظهور الصخور النارية — المداخلة وذلك في الجزء النشط بركانياً من الجيوسنكلين .
- الصخور الرسوبية تنشوء — فتلتوي وتتصدع وتندفع الى أعلى .



- ٣ - يتكون حوض ترسيبي جديد نتيجة الطي أمام منطقة النشوء الجبلي . تتكون مراوح ترسبية في الأماكن العميقة ، ويحدث ذلك جزئياً أثناء الترسيب .



- ٤ - مرحلة تكون الجبال الرئيسية مصدوبة بنشاط ناري تداخلي .
- ٥ - رفع وحت (انظر الشكل (١٥ - ٧)) .

الشكل (١٥ - ٢٦) : مراحل تطور الجيوسنكلين :

هذا ينشأ عادة على طرف القارة حيث يكون الجزء البركاني منها في جهة المحيط فقد افترض بعض الجيولوجيين أن مصدر تلك الصخور هي قارة تقع الآن تحت مستوى سطح البحر . الا أن دراسات حديثة أظهرت أن ذلك لا يتلاءم والتراكيب الموجودة على أطراف القارة . واعتبرت في الاعوام الأخيرة اقواس الجسر الموجودة في المحيط الهادي والكاريببي مظهراً يصاحب المناطق العميقة في المحيط ووجد أن ظواهر الجاذبية فيها هي من النوع الذي ينتج عن التجويفات حديثة العهد التي قد نجدها وتشبه الجيوسنكلينات ولهذه الأسباب اعتبرت هذه الجزر القوسية المصدر لتلك الصخور الفتاتية في الجيوسنكلين . وفي الفصلين

السادس عشر والسابع عشر سوف نبحث في الاقواس الجزرية والجيوسنكلينات المحتمل وجودها حاليا .

وتنتهي عملية الترسيب في الجيوسنكلين عندما يتوقف الهبوط ويتوقف استقبال الترسبات ، ويحدث هذا عادة بعد أن يكون قد تراكم بين (٣٠-٥٠) ألف قدم من الصخور الرسوبية . وبعد ذلك تبدأ مرحلة تكوين الجبال وانشائها :

١ — تتشوه الترسبات محدثة تركيبا جبليا ، ثم

٢ — من الممكن أن يصبح الجزء البركاني في الجيوسنكلين كتلة صلبة ذات تكوين جرانيتي بفعل النشاط الناري والتحولي فيغدو شبيها بالتركيب القاري . وعموما ان تاريخ الجيوسنكلينات الفعلي اكثر تعقيدا ويتخلله تطابق وتكرار في كل من هذه المراحل الثلاثة . ويعتقد بعض الجيولوجيين بأن هذه هي الطريقة التي تنشأ فيها القارات . الا أن الجيوسنكلينات لا تقع جميعها على حواف القارات وهناك نظريات اخرى وضعت في ذلك ايضا . ولذا يفضل عدم اتخاذ قرار في ذلك حتى يصبح الحصول على مزيد من المعلومات ممكنا . ولا تظهر القاعدة التي تقوم عليها الجيوسنكلينات مكشوفة الا في الاجزاء الاقل نشاطا منها فقط . وتكون هذه القاعدة في هذه الحال قارية بينما لا تنكشف في الاجزاء البركانية الاكثر نشاطا ابدا ، وقد يكون الجيوسنكلين قد تكون هنا فوق قشرة محيطية .

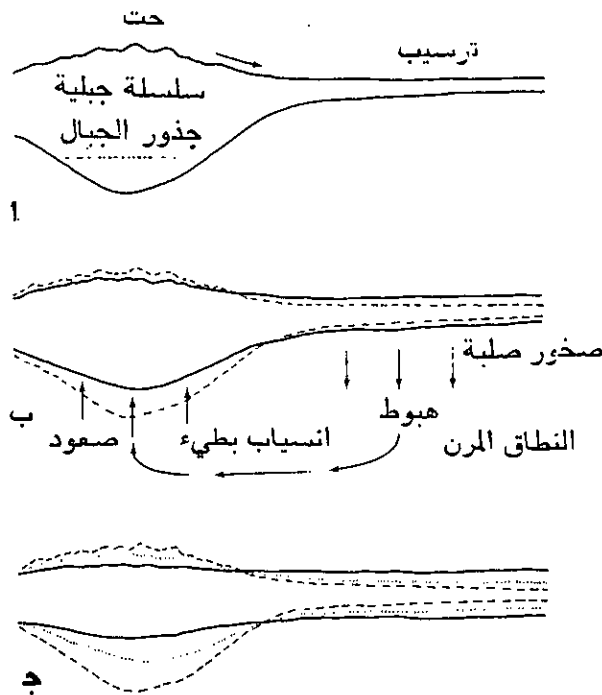
ان مرحلة تكوين الجبال في الجيوسنكلين هي ولا شك في غاية الاهمية ، وقد استحوذت على اهتمام الدارسين ومع هذا فهي اقل الظواهر الجيولوجية وضوحا . في هذه المرحلة يتأثر الجيوسنكلين غالبا بالقوى الضاغطة فيتطوى . ويصاحب ذلك في الجزء البركاني عملية تحول وتدخل من الصخور الجرانيتية . وبهذه الطريقة يستطیع جزء من التغير أن يتحول الى كتلة صلبة . ويجدر ملاحظة أن الصخور الجرانيتية والمتحولة ليست مرتبطة دائما بالجزء البركاني من الجيوسنكلين فقط . وفي بعض الاماكن قد لا يتأثر هذا الجزء ابدا . ويمكن أن تظهر في قليل من الحالات ، باثوليتات (٢٢) صغيرة الحجم عادة خارج نطاق الجيوسنكلين . ويبرز غالبا في مثل هذا الوضع حوض ترسيب جديد فوق الحدود بين ذلك القديم والجرف او القارة وهكذا يمكن أن تبدأ دورة رسوبية

جديدة . وقد يتبع ذلك فترات أخرى من الالتواء والتصدع الدفمي هنا وهناك في داخل الجيوسنكلين . وقد يصاحب مثل هذه الاحداث المكونة للجبال تحول وتدخل من الباثوليتات وقد يمتد زمن مثل هذه الاحداث الى بضع مئات من ملايين السنين . أما الالتواء في الجيوسنكلين وكذلك التصدع فانهما يحصلان غالبا على فترات تمتد كل منها عبر زمن طويل غير انه يبدو أن تدخل الباثوليت يحدث بسرعة كبيرة جدا . وهناك لسوء الحظ اتجاه لتأريخ تكوين الجبال بواسطة تأريخ بلمورات الباثوليت الاشعاعي مع أن كثيرا منها أخذ مكانه قبل أو بعد التشويه بالتأكيد أما الخطوة الأخيرة فيمكن أن تتمثل في تداخل الباثوليتات الجرانيتية الصغيرة ، وهو ما قد يحدث اما قبل النشاط البركاني أو اثنائه وهذا يتبع مرحلة تكوين الجبال وهي تشبه في تركيبها الكيميائي تلك الصخور البركانية المذكورة . وقد تظهر في نفس الوقت تقريبا صخور بركانية في منطقة القارة القديمة و الرف ، وذلك على نوعين . فأولا ما هو مميز بصفة خاصة هو وجود صخور نارية داخلية و سطحية قليلة الانتشار من الانواع القديمة التي تشبه الصخور شبه البازلتية وهي غنية اما بالبوتاسيوم أو الصوديوم أو كليهما . والنوع الثاني يتكون من السهول البازلتية وسميت كذلك لعظم حجمها ، فهي تتكون من تدفق سميك من السيول والقواطع الافقية التي تغطي مساحات واسعة جدا . وهي تثور من شقوق تتجمع عادة فتتسبب لذلك بنشوء شبكات من القواطع (انظر الشكل (٣ - ١٠)) . وان قلة التنوع الذي يحصل اثناء تدفق البازلت أمر غير عادي وقد يشير الى أن تلك الشقوق تتصل بخزانات بازالتية ضخمة . وتجد امثلة على مثل هذه الظواهر في حوض نهر الكولومبيا بواشنطن والاوريجون ، وكذلك هضاب الديكان في الهند .

وبعد التشويه تتعرض مناطق الجيوسنكلين للرفع بشكل عام مكونة السلاسل الجبلية . فنتج تركيبات جبلية عن التشويه في المقعر غير انها لا تصبح طبوغرافيا جبالا الا اذا حصل هذا الرفع . وقد يعود السبب في هذا الرفع الى تكوين جذر من صخور خفيفة تحاول أن تطفو الى السطح تحت تأثير حفظ التوازن . وفي بعض السلاسل الجبلية يحدث الرفع بعد عملية التشويه بمدة طويلة ، مما يدل على أن الجذر في بعض الحالات ينشأ متأخرا جدا . ويبدو أن تكوين الجذر والرفع هما خاصيتان متأخرتان ولا تحدثان حتى يمر وقت على إنقضاء القوى العاملة على

الهبوط المبدائي وتلك النسبة للتشويه .

وما أن تتكون سلسلة جبلية حتى يصبح مستقبلها مرتبطا الى حد كبير بحفظ التوازن (٢٤) فحالما ترتفع تصبح معرضة للحت ، وكلما أزيل جزء من وزن الجبال بفعل ذلك ارتفعت السلسلة على الأرجح بسبب طفو الجذور كما هو موضح في الشكل (١٥ — ٢٧) . ولا بد أن تستمر هذه العملية حتى يكون الجذر قد ارتفع الى مستوى بقية القارة ، وتكون الجبال الطبوغرافية قد تقلصت بفعل التعرية الى مستوى بقية القارة ايضا . وبهذه الطريقة يمكن تكوين قطاع جديد من الرصيف القاري . وتظهر في صخوره تركيبات جبلية ، وقد ينتج عن هذه العملية تشويع في الصخر يشبه ذلك المبين في الشكل (١٥ — ٢٣) .



الشكل (١٥ — ٢٧) التلخص من الجذور الجبلية بالحت والتعرية وخاصة حفظ التوازن. الحت يبعد المواد من الجبال فبذلك يخف وزنها . وهذا يؤدي الى تقليص عمق الجذور . أما المكان الذي يترسب فيه هذا الحطام فانه يتأثر باستمرار بضغط الوزن وزيادته . وفي هذا الشكل نرى عدة مراحل من العملية .

أما لماذا تنشأ الجيوسنكلينات فأمر ليس معروفا إلا أن هناك بعض النظريات المحتملة وستؤخذ في الاعتبار في الفصل السابع عشر . أن المناطق النشطة حاليا في القشرة الأرضية مثل الجزر القوسية ليست في حالة توازن ، ويمكن القول بأن حفظ التوازن لا يؤدي إلى تكوين جيوسنكلين بالرغم من أن وزن الرسوبيات قد يساعد في هبوط جزئي فيه .

أن نشوء القارات مشكلة مهمة . فهل هي معالم أصيلة في القشرة الأرضية جرى تعديل عليها فيما بعد وهل كبرت خلال الزمن الجيولوجي ؟ تقول أكثر النظريات في أصل القارات شيوعا بأنها أفرزت بشكل ما من الستار العلوي ، ولكن بعض الناس يرون بأن منشأها هو سقوط مواد نيزكية (٢٥) مباشرة بعد تصلب الستار . ويتضح من الجزء الثاني في هذا الكتاب أنه لو لم يكن قد طرأ تجديد على القارات لكانت قد حلت السى مستوى القاعدة حالا بعد تكوينها . وقد يكون هذا التجديد قد حصل أما باتمام بناء القارات من أسفل أو بالانتشار العرضي . ويدل التاريخ الإشعاعي لصخور القاعدة ونظرية الجيوسنكلين على أن القارات كانت قدنمت عرضيا خلال الزمن الجيولوجي . ويجدر على أي حال ملاحظة أن العمر حسب التاريخ الإشعاعي ، كما يدل الشكل (١٥ — ٢٣) ، يتعدى المليار سنة فيما عدا منطقة الباثوليت الحديثة العهد على الساحل الشرقي . وهكذا فقد تكون القارات قد أخذت حجمها الحالي منذ مليار سنة ، وقد تكونت الباثوليتات الحديثة التي تتداخل في بناء القارة قد جعلتها تنمو رأسيا . وتوجد هذه الباثوليتات الحديثة في مجموعات ضمن الجيوسنكلين ، لذا فإن إحدى طرق الإجابة على السؤال هي تحديد ماهية نوع القاعدة الواقعة تحت الجيوسنكلينات . فهل تنشأ فوق قارات جرانيتية أم على قشرة محيطية ؟ ولا تظهر قاعدة الجيوسنكلينات هذه إلا في بعض الأماكن فقط وذلك على الجهة القارية منها ، وهناك نجد قاعدة قارية . أما في الجهة الأكثر نشاطا في جهة المحيط فإن النشاط التحولي والناري هناك يخفي معالم الصخور القديمة وقد تكون القاعدة هناك محيطية .

أمثلة على التراكيب القارية

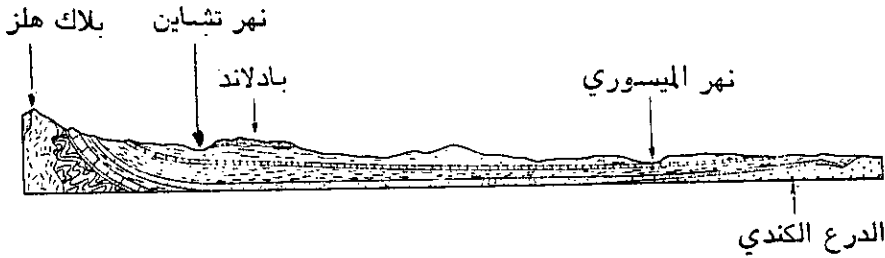
Examples of continental structure

تربنا اقاليم التراكيب الرئيسية في الولايات المتحدة أن توزيع الصخور المشوهة لم يكن عشوائيا . وبين الشكل (١٥ — ٢٨) الاقاليم التركيبية التي اخذت بعين الاعتبار ، وهذه يجب أن تقارن مع خريطة التضاريس الطبيعية في نهاية الكتاب . ان داخل القارة هو الجزء منها الذي يقع بين جيوسنكلينات ويعتبر هذا القطاع في معظمه منخفض المستوى بحيث يغطيه غشاء رقيق من الصخور الرسوبية . ولما كانت الصخور الرسوبية في الشمال الشرقي قليلة السمك فان صخور الدرع الكندي المتحولة والقديمة تبرز على السطح ، أما غربا فيرتفع المستوى على الهضاب العظيمة ، ولا نجد الا تشويهاة خفيفة في معظم اجزاء الداخل القاري مكونة من احواض بسيطة وقباب (انظر الشكل (١٥ — ٢٩)) . ونجد هناك القليل من التصدع والطيات خفيفة الميل كما انه لا يوجد بينها الا القليل من الصخور النارية المتباعدة . وكلما اقتربنا من الجبال في اي اتجاه يزداد سمك الطبقات الرسوبية ويصبح من السهل رؤية الطيات والفوالق في المناطق المكشوفة كما أن الصخور النارية والمتحولة تصبح أكثر انتشارا . وعلاوة على ذلك هناك صخور جبال اربوكل وواشيتا ذات التشوه الشديد ، وهي تقع جنوبي او كلاهما واركنساس المجاورة مخترة بذلك الداخل القاري .

أما جبال الابلاشيان فهي نموذج للجبال الناجمة عن الجيوسنكلين . وتسيطر الصخور النارية والمتحولة على الجانب الشرقي بينما يتكون الغربي في معظمه من صخور رسوبية . أما في الابلاشيان الجنوبية فتتكون البيدمونت (٢٦) ذات الارتفاع المنخفض من صخور متحولة بينما تتشكل جبال بلو ريدج (٢٧) من صخور مشابهة على ارتفاعات أعلى . ونجد معظم الصخور الرسوبية هنا على الجبال وفي الوادي مصاحبة لفوالق دفعية . (انظر الشكل (١٥ — ٣٠)) أما شمالا في بنسلفانيا فان الصخور الرسوبية ملتوية بشكل عام . (انظر الشكل

. ((٣١ — ١٥))

أما إلى الغرب من المرتفع والوادي حيث تقع سهول الإبلانشيان فإن الصخور الرسوبية قليلة التشويه بشكل ملحوظ . ونجد أن معظم الصخور في نيوانجلاند نارية ومتحولة كما نجد أحزمة ضيقة من الالتواءات والفوالق العكسية هناك . أما السهل الساحلي على المحيط الأطلسي فهو عبارة عن غطاء رقيق من الصخور الرسوبية غير المشوهة التي تغطي على الأرجح صخوراً متحولة ومن أصل باثوليتي كانت قد قدسويت بالاحت واصبحت تشبه البيدمونت .



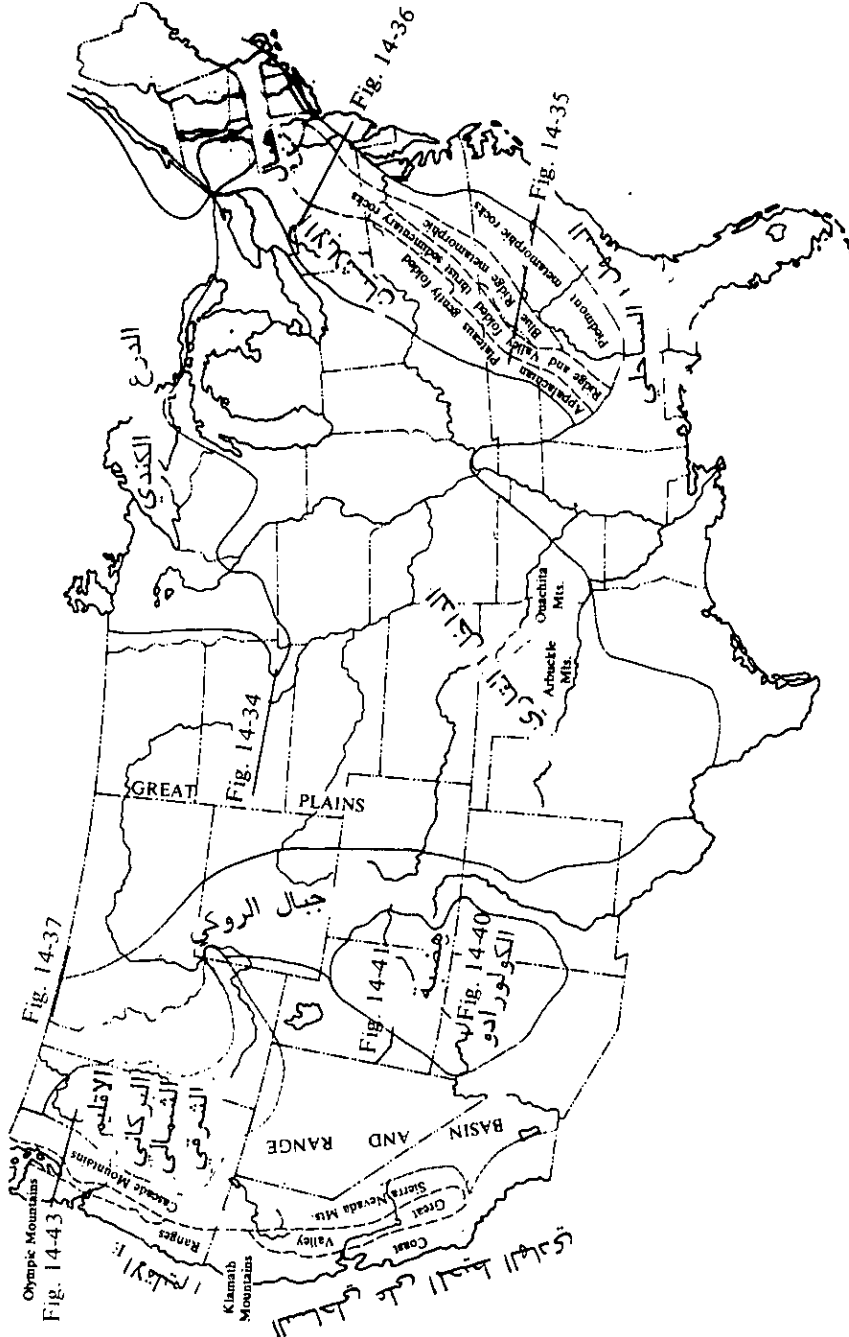
الشكل (٢٩ — ١٥) : مقطع رأسي من السهول العظمى وحتى المرتفعات السوداء في جنوب داكوتا إلى الدرع الكندي في جنوب شرق داكوتا .



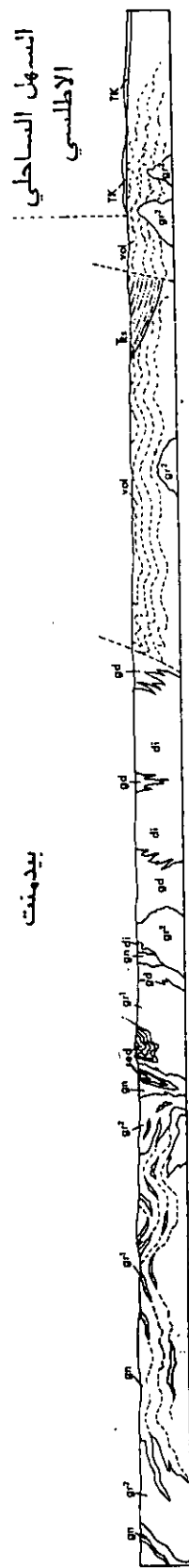
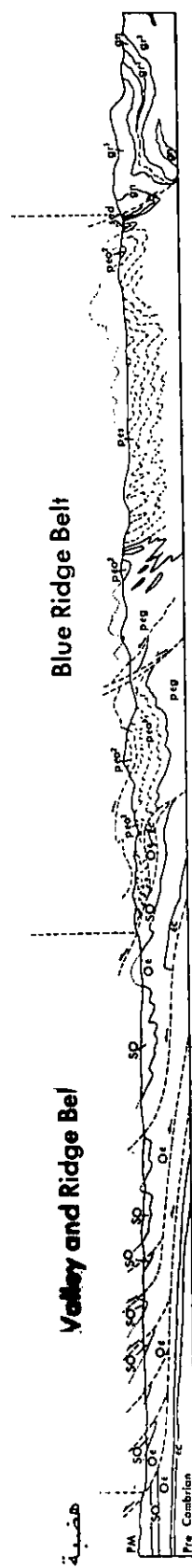
الشكل (٣١ — ١٥) : مجسم بين القرايب في جبال الإبلانشيان في بنسلفانيا ونجسند الصخور الرسوبية هنا ملتوية أكثر من أن تكون متمدعة كما في الشكل (١٥ — ٢٠) .

وكذلك فإن منشأ جبال الروكي هو من الجيوسنكليينات ولكنها أكثر تعقيداً من جبال الإبلانشيان . ونجد الجزء الشمالي منها يتميز بوجود فوالق عكسية وطيأت مثله في ذلك كمثل الجزء الغربي من الإبلانشيان (انظر الشكلين (١٥ — ٣٢) و (١٥ — ٣٣)) بحيث تدل الفوالق العكسية العديدة على حدوث تقصير جسيم . أما الجزء الغربي من جبال الروكي الشمالية فينكون من باثوليت أيداهو وباثوليت شمال شرقي واشنطن .

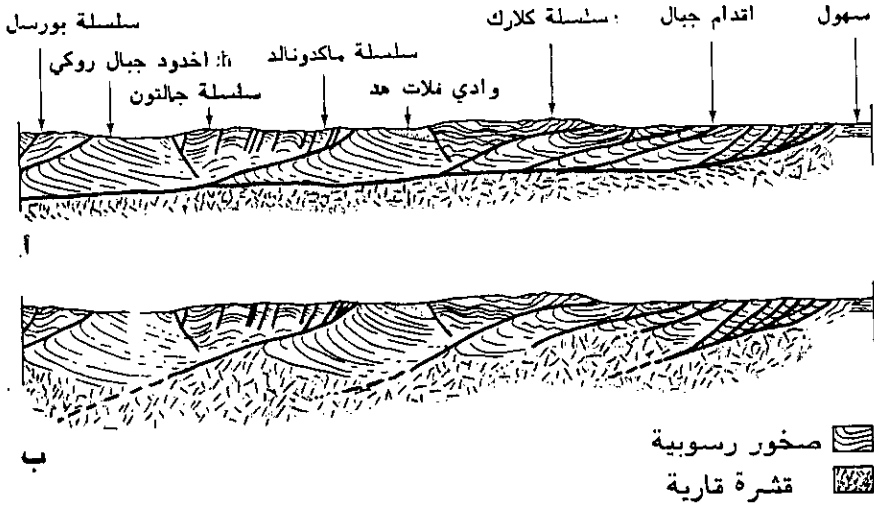
وهذا يشبه بدوره الوضع في الإبلانشيان . أما بقية الروكي فهي مختلفة . فتتكون الجبال في ويومنج بشكل رئيسي من مرتفعات ذات فوالق على جوانبها



المشكل (١٥ - ٢٨) : الاقاليم الجيولوجية في الولايات المتحدة . حسب التراكيب الجيولوجية والطبوغرافيا السطحية . أما حدود تلك الاقاليم فهي تقريبية . ونرى على الخارطة بعض المقاطع التي تميز بعض التراكيب الجيولوجية .

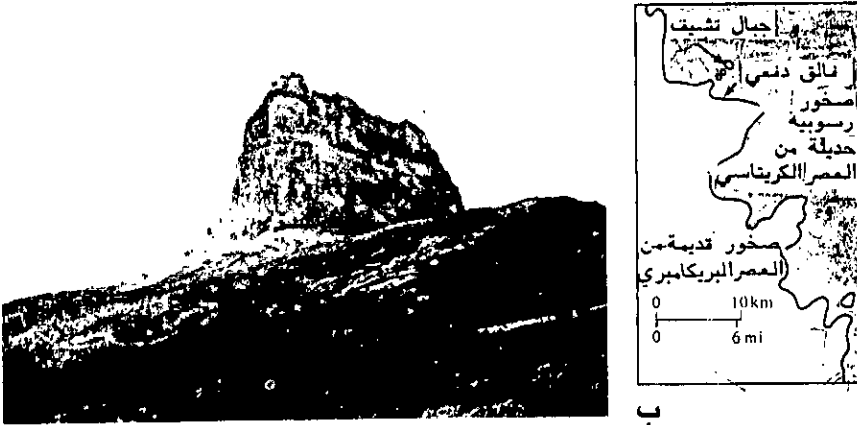


الشكل (١٥ - ٢) : مقطع عبر جبال الإبلاتيان الجنوبية . وتكون مناطق اليندنت والبلو رج بشكل رئيسي من صخور مخلوطة ، بينما تتكون الوادي والردج باق في معظمها من صخور رسوبية ، تصدعة عكسيا .



ب

الشكل (١٥ - ٢٢) : مقطع في جبال الروكي الشمالية عند الحدود الدولية . ان الصخور الرسوبية هنا مصدعة عكسيا ويصل المقدار الإجمالي للزحاحة عدة أميال .



ب

الشكل (١٥ - ٢٢) : (١) جبال تاشيف . المتزه الوطني في مونتانا . وهذه الجبال هي عبارة عن بقية من صفيحة صخور قديمة العصر مندفعة فوق صخور أحدث عمرها منها بكثير .

(ب) - خريطة تبين فالق عكسي بالقرب من جبال تاشيف . ان الازاحة الدنيا على الفالق العكسي تمثل المسافة بين أبعد نقطتين الى الشرق والغرب والتي يمر منها الفالق وهي تساوي ١٢ ميلا تقريبا . ان الحركة كانت متجهة قليلا الى الشمال من الشرق كما هو ظاهر من الخطوط على سطح الفالق .

وتحصر بين سلاسلها احواضا ترسيبية كبيرة . وتشبه هذه التراكيب الى حد ما تلك الموجودة في اقليم الحوض والسلسلة (٢٨) الا انها تختلف عنها بان الاحواض والسلاسل هنا في فيومنج تعتبر اكبر بكثير . كما أن عمر الفوالق وانواع الصخور



الشكل (١٥ - ٢٤) : نظرة الى الشمال على جبال الروكي الامامية جنوب دنفر ، كولورادو . ان الصخور السلاسل على اليسار هي مكونة من النارية والمتحولة . اما في مقدمة وفي وسط الصورة ، فان بقايا الصخور الرسوبية المئات بالحت التعرية تعتبر واضحة المعالم . وهكذا فان التركيب الاساسي هنا هو عبارة عن جناح من محدب واسع . اما على البعد في اليمين فنرى جبال تيبال التي تكونت نتيجة للسيول البركانية .

في التراكيب الداخلية المكشوفة في الجبال هي ايضا مختلفة تماما . وفي اواسط جبال الروكي تنكشف صخور قديمة مثل تلك التي في الدرع الكندي . وخلافا لما هو في فيومنج نجد في الكولورادو سلاسل واحواضا اكثر . (انظر الشكل (١٥-٢٤)) . وفي نيو مكسيكو تندمج هذه التراكيب مع تلك الموجودة في اقليم الحوض والسلسلة .

اما هضبة الكولورادو فقد تكون سببا في حدوث تضيق بجبال الروكي . وهي تشكل ظاهرة تركيبية غير عادية حيث انها تقع في مستوى مرتفع وتحتوي على تراكم سميك من الصخور الرسوبية غير المشوهة نسبيا . واما لماذا بقي هذا الاقليم غير مشوه فهذا غير معروف علما بأن الصخور المحيطة به تشوهت . وتوجد هذه الصخور الرسوبية في وضع افقي الا انها مصدعة بفعل الفوالق الراسية واحاديات الميل (٢٩) (انظر الشكل (١٥-٣٥)) .

الشكل (١٥ — ٢٥) : مقطع لجزء من هضبة كولورادو في أريزونا •

Paria Plateau

Virgin Valley

Pine Valley Mountain



Paria Fold
Echo Cliffs

Marble Canyon

East Kaibab Fold

Kaibab Plateau

West Kaibab Fold

Kanab Plateau

Kanab Canyon

Kanab Plateau

To-ro'-weap Fault

U-in-ka-rel Mountains

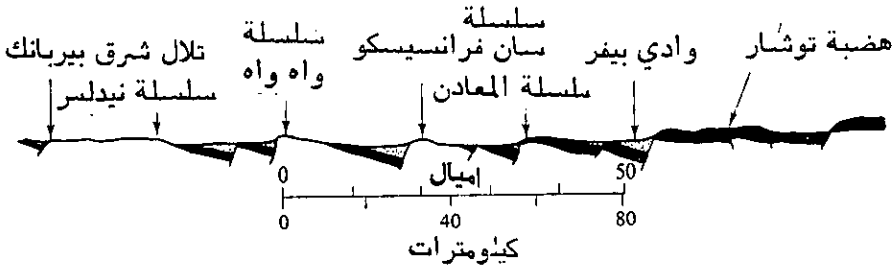
Hurricane Fault

Shi'-wits Plateau

Grand Wash Fault.

Grand Wash.

أما إقليم الحوض والسلسلة فهو عبارة عن منطقة سلاسل جبلية نشأت بسبب حدوث عديد من الفوالق الصغيرة نسبيا . (انظر الشكلين (١٥ — ٣٦) و (١٥ — ٣٧)) ونجد الصخور المكونة لهذه السلاسل مشوهة الى حد كبير بفعل الالتواءات والتصدع والعمليات النارية والتحولية . ويمكن تتبع اثار صدوع دافعية ممتدة بين سلسلة واخرى بازاحة تصل لعدة أميال . وتعتبر السيرانيفاذا في كاليفورنيا . ابعد هذه السلاسل الى الغرب وهي تمثل الجزء الباثوليتي من الجيوسنكلين في هذه المنطقة .



الشكل (١٥ — ٣٦) : مقطع نموذجي لجزء من إقليم الحوض والسلسلة .

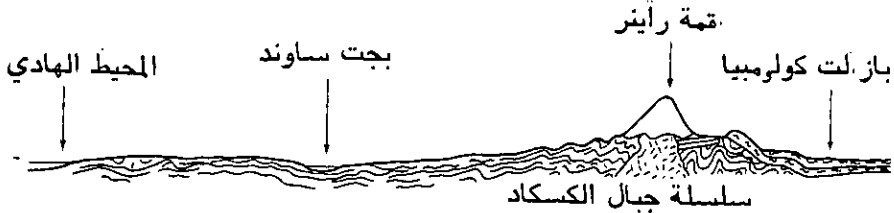
ويعتبر الاقليم الساحلي على المحيط الهادي (٣٠) منطقة جيولوجية حديثة العهد الا انها في غاية التعقيد . وهي منطقة نشطة جيولوجية بدليل وجود نشاط زلزالي كبير فيها مصحوبا بالبركان الوحيد في الولايات المتحدة الذي لا يزال نشطا ايضا . ونجد في هذا الاقليم فائق سان اندرياس الذي سبق أن ناقشناه . ويتكون الجزء الغربي من هذا الاقليم من السلاسل الساحلية التي تحتوي على صخور معقدة الالتواءات والتصدع اما الجزء الاوسط منه فهو عبارة عن ارض منخفضة فيما عدا شمالي وجنوبي كاليفورنيا اما جبال السيرانيفاذا الكاليفورنية فتمثل الجزء الشرقي من الاقليم وهي ذات علاقة باقليم الحوض والسلسلة . وتقع سلسلة جبال الكسكاد الى الشمال من السيرانيفاذا وهي تتكون من صخور بركانية واخرى رسوبية قارية تغطيها براكين مرتفعة حديثة جدا في عمرها . ولهذه الصخور البركانية كثير من الصفات المشتركة مع صخور الاقليم البركاني الشمالي الغربي (٣١) الذي يقع الى الشرق من جبال الكسكاد ، فهي اشبه بها

من الاقليم الساحلي على المحيط الهادي إلا ان هناك معالم تركيبية ورسوبية ذات صلة ببقية الاقليم .

ويتكون الاقليم البركاني الشمالي الغربي من صخور بركانية مختلفة العمار (انظر الشكل ١٥ — ٣٨) . ويغطي بازالت نهر الكولومبيا مناطق جنوبي شرقي



الشكل (١٥ — ٣٧) : صورة ماثلة من الجو لسلسلة في الجزء الغربي الأقصى من اقليم الحوض والسلسلة في جنوب كاليفورنيا . وقد ذهبت التسمية في معظم اجزاء الواجهة الامامية . والحركات الحديثة على الفالق أثبتت أن موقعه موجود على مسافة بعيدة أمام السلسلة . لاحظ الفرق بين الاختراق على طرفي جدار الفالق . قارن مع الشكل (٣٩ — ٤٠) .



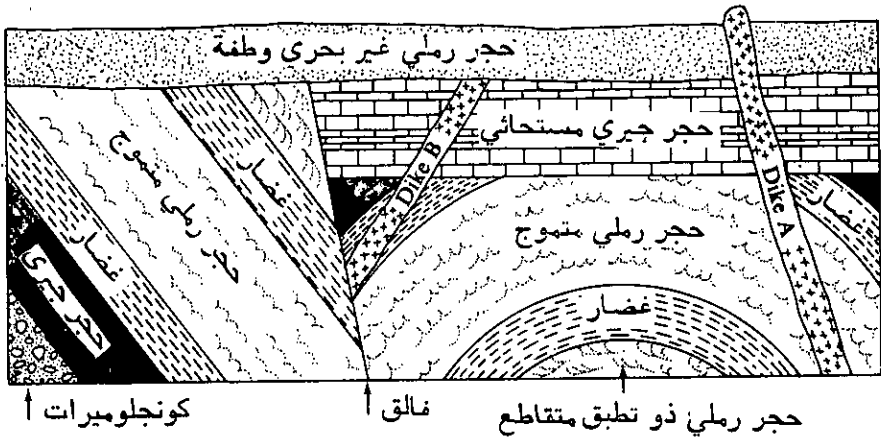
الشكل (١٥ — ٣٨) : مقطع من وسط واشنطن . وتتكون جبال الكاسكاد من صخور بركانية وأخرى رسوبية قارية ، تصبح بحرية باتجاه الغرب . وهناك صخور نارية متداخلة تنتشر بين جبال الكاسكاد وتتجمع البراكين الكبيرة مثل جبل انبير فوق قمة السلسلة . أما في الشرق فيغطي بازالت نهر الكولومبيا المنطقة .

واشنطن وكذلك اوريجون المجاورة بعدة الاف قدم من حجم البازلت . وتغطي صخور بركانية احدث عمرا معظم ولاية اوريجون ووادي نهر السنيك في ولاية ايداهو . وتتكشف هنا الكثير من المعالم البركانية الحديثة التي لم يمر عليها وقت كاف يجعلها تتأثر بالتجوية وتمتد الصخور البركانية الى الزاوية الشمالية الغربية من اقليم الحوض والسلسلة حيث اعتبرت هناك جزءا منه لكونها تأثرت بالتشوه الناتج عن تصدع ذلك الاقليم . اما الجبال الزرقاء في اوريجون فانها تتكون من صخور قديمة جدا وفي ذلك الدليل الوحيد على التراكيب التي تنشأ في الجيوسنكلين .

أسئلة

- ١٥ — ١ ماهي اعمار صخور القاعدة المكونة لأمريكا الشمالية ؟ بين كيفية توزع هذه الصخور .
- ١٥ — ٢ لماذا ركز الجيولوجيون كثيرا من اهتمامهم على تكوين السلاسل الجبلية ؟
- ١٥ — ٣ بين خطوات تكوين الجبال ؟
- ١٥ — ٤ كيف يتم تأريخ الجبال ؟
- ١٥ — ٥ حدد بايجاز المسار التاريخي للجيوسنكلين .
- ١٥ — ٦ ناقش اصل القارات .
- ١٥ — ٧ عن أي نوع من القوى تنتج الالتواءات (الطيّات) ؟
- ١٥ — ٨ عن أي نوع من القوى تنتج الفوالق العادية ؟
- ١٥ — ٩ عن أي نوع من القوى تنتج الفوالق العكسية ؟
- ١٥ — ١٠ ماهي الطية المحدبة anticline ؟ ناقش عدة طرق تبين كيفية تمييزها عن الطية المقعرة syncline .
- ١٥ — ١١ ماهو الفالق العكسي ؟
- ١٥ — ١٢ أي البراهين تبحث عنها في الميدان لتستدل عما اذا كان كسر ما فسي الصخر فالقا fault أو فاصلا joint ؟
- ١٥ — ١٣ ما الذي يحدد فيما اذا كان الصخر سيلتوي أو يتصدع عند تعرضه للضغط ؟ اذكر كل العناصر .

- ١٥ — ١٤ كيف تستطيع أن تتبين ميدانيا فيما اذا كان فالق ما يزال نشطا ؟
- ١٥ — ١٥ كيف نستطيع تحديد مقدار الحركة على الفالق ؟
- ١٥ — ١٦ برهن لصديق لك ذي تخصص ادبي لم يأخذ مساقات علمية حدوث حركات في القشرة الارضية .
- ١٥ — ١٧ قارن التراكيب القارية لحوض الميسيسيبي مع تلك التي في جبال الروكي
- ١٥ — ١٨ يبين الرسم التالي مقطعا رأسيا في منطقة ما . اذكر تتابع الاحداث التي مرت على هذه المنطقة مبتدئا باقدمها . (قد ترغب في مراجعة اجابتك بعد قراءتك للفصل التاسع عشر) .



مراجع اضافية

Bailey, E. B., *Tectonic Essays Mainly Alpine*. Oxford: Clarendon Press, 1935, 200 pp. Reissued by University Microfilms, Ann Arbor, Michigan, 1967.

Engel, A. E. J., "Geologic Evolution of North America," *Science* (April 12, 1963), Vol. 140, No. 3563, pp. 143-152.

Kay, Marshall, "The Origin of Continents," *Scientific American* (September, 1955), Vol. 193, No. 3, pp. 62-66. Reprint 816, W. H. Freeman and Co.,

San Francisco:

King, P. B., *The Evolution of North America*, Chapter 4, pp. 41-75. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1959, 190 pp.

Milne, L. J., and others, *The Mountains*. New York: Life Nature Library, Time, Inc., 1962, 192 pp.

Moorbath, Stephen, "The Oldest Rocks and the Growth of Continents," *Scientific American* (March, 1977), Vol. 236, No. 3, pp. 92-104.

الفصل السادس عشر المحيطات والحدود القارية المحيطة

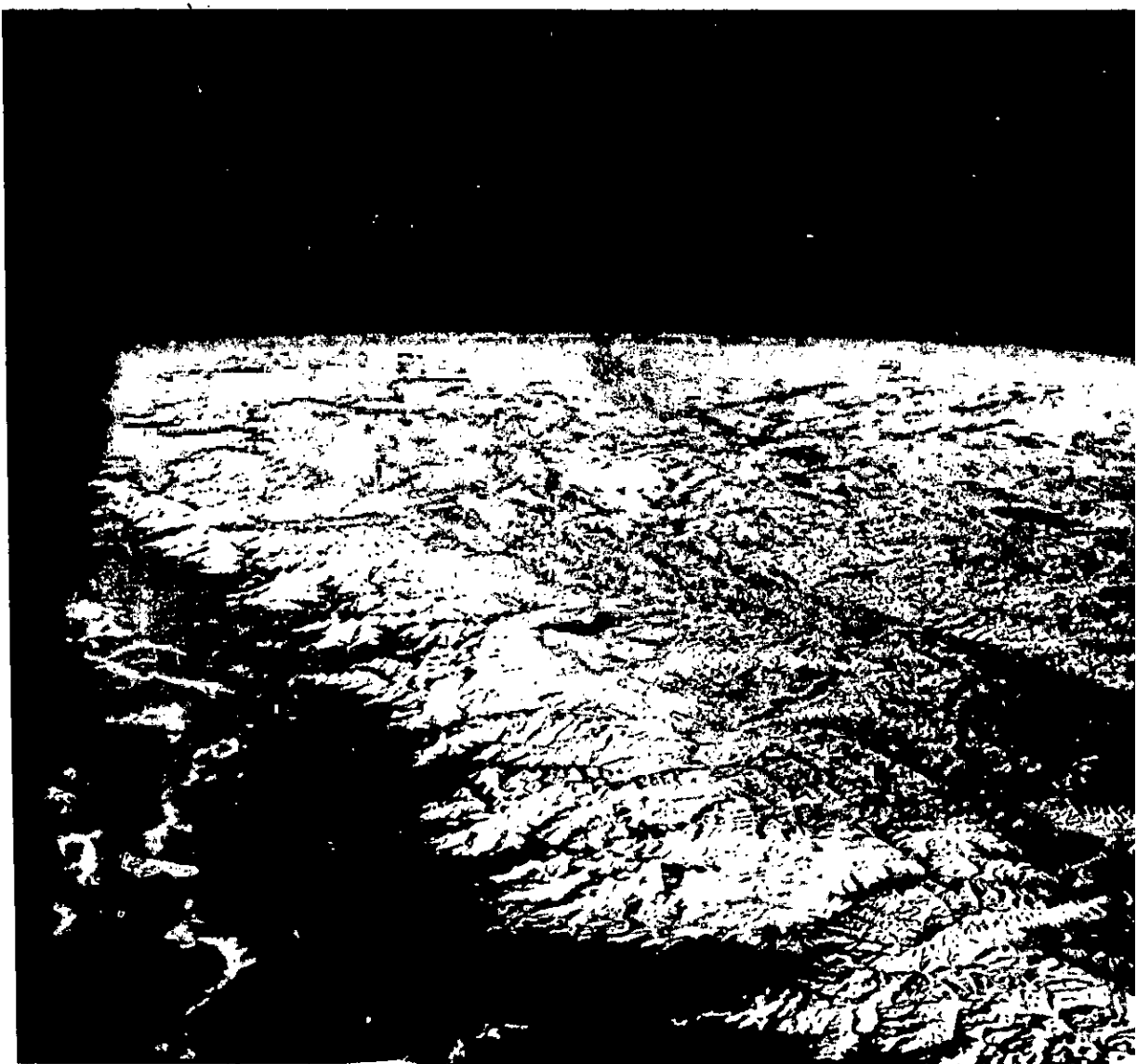
The Oceans and the Continent- Ocean Borders

المحيطات
الارصفة المحيطة
الجبال تحت البحرية
ظهور وسط المحيط
مناطق التكسير
الحدود القارية المحيطة
المنحدر القاري
الجزر القوسية

أسئلة
مراجع اضافية

اعلى جبال العالم على طول حدود الهند والتبت . ويمكن أن تكون جبال
همالايا قد تشكلت بسبب تصادم الهند مع اسيا .

17



المحيطات

Oceans

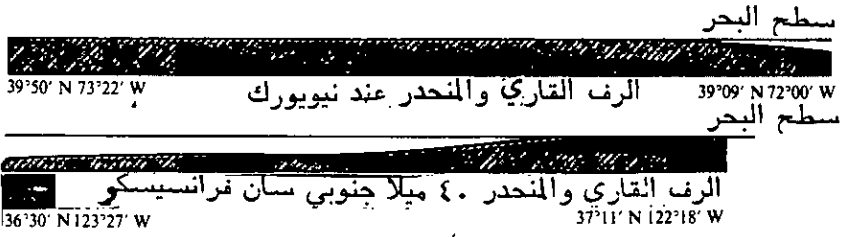
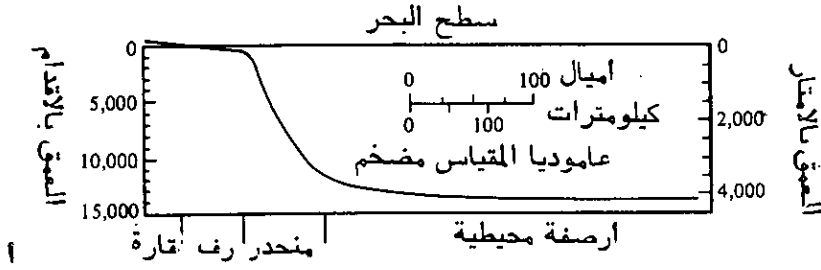
لم نكن نعرف حتى وقت قريب الا قليلا عن المحيطات التي تغطي اكثر من (٧٠٪) من القشرة الارضية . وبينما يمكن دراسة القارات مباشرة فيما عدا الرفعوف القارية التي هي جزء من القارة يغطيه المحيط فانه من اجل دراسة القشرة المحيطية لا بد من استخدام وسائل غير مباشرة كالصدى العميق والدراسة الزلزالية . ويؤدي الاختلاف في نوعية المعلومات التي يمكن الحصول عليها الى معرفة اشياء مختلفة عن هذين الجزئين الكبيرين من القشرة الارضية . واحد المظاهر الهامة في ذلك يكمن في أننا لا نعرف من المحيط غير بعض التراكيب الكبيرة فقط عدا بعض الاستثناءات القليلة . ويحدونا الامل بأن يأتي المستقبل بعدد اكبر من الدراسات التفصيلية الجديدة ليصبح مقدار معلوماتنا عن القشرة المحيطية كذلك التي نعرفها عن القشرة القارية .

Oceanic Platforms

الارصفة المحيطية

تغطي الارصفة المحيطية المبيعة حوالي (٤٠٪) من سطح الارض . (انظر الشكل (١٦ - ١)) . وقد كنا بحثنا عن سبب ذلك في فصل سابق فوجدنا بأنه كان نتيجة المستوى الذي تصل اليه القشرة البازلتية الاعلى

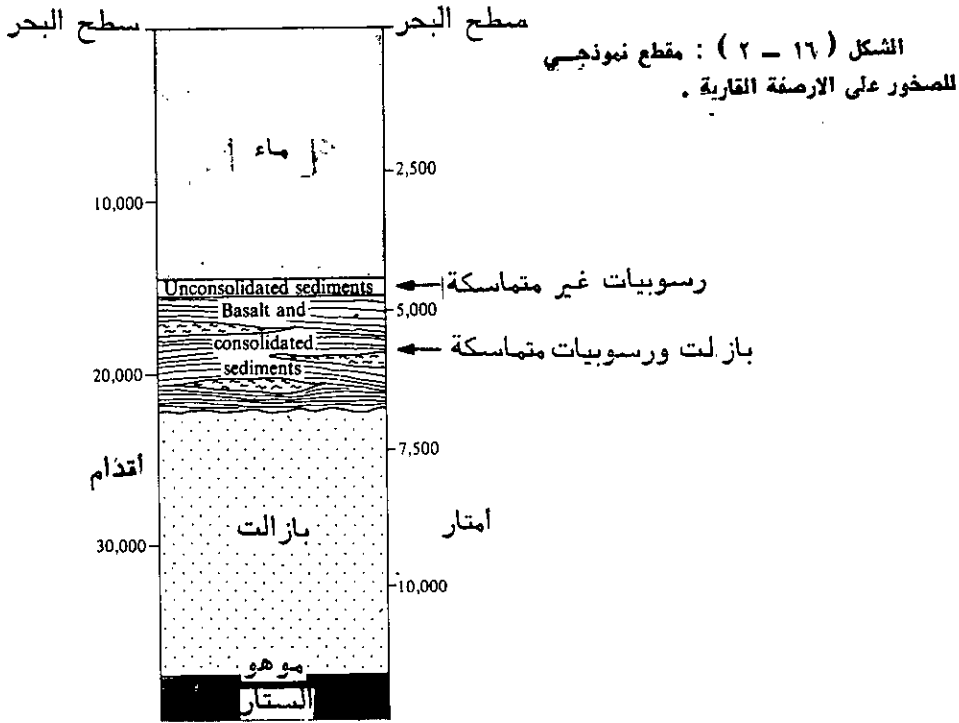
كثافة عندما تسبح تحت المحيط بفعل المحافظة على التوازن .
ولقد دلت الدراسات الزلزالية (السايزمية) بشكل ملحوظ أن تركيب الارصفة
المحيطة ذو نسق واحد . (انظر الشكل (١٦ - ٢)) . فتوجد على عمق
يساوي مليون وثلاثة أرباع الميل من المياه طبقة رقيقة من الرسوبيات غير



الرف القاري والمنحدر . ٤ ميلا جنوبي سان فرانسيسكو
36°30' N 123°27' W 37°11' N 122°18' W
المقياس غير مبالغ فيه عاموديا
الشكل (١٦ - ١) : (١) - الحد القاري ويظهر فيه الرف القاري بوضوح ، وكذلك
المنحدر القاري والرصيف المحيطي .
(ب) - مقاطع حقيقية الحدود القارية بدون مبالغة في المقياس .

التماسكة تبلغ في معدل سماكتها حوالي الالف قدم . وتتكون هذه الطبقة الاولى
من الطين الاحمر والزرع (١) . ويوجد تحتها طبقة ثانية سمكها غير منتظم
ويصل في معدلها نحو ميل وربع . ويعتقد بأن هذه الطبقة تتكون من البازلت
والرسوبيات التماسكة . وتمتد الطبقة الثالثة حتى الموهو وهي في اي مكان
قريبة في سمكها من ثلاثة اميال . ومع ان تركيب هذه الطبقة ليس معروفا الا ان
العادة جرت على اعتباره من البازلت . وسنناقش ذلك باسهاب في الفصل
السابع عشر .

ان للارصفة المحيطية اسطح ملساء بشكل عام . وتقطعها في بعض الاماكن



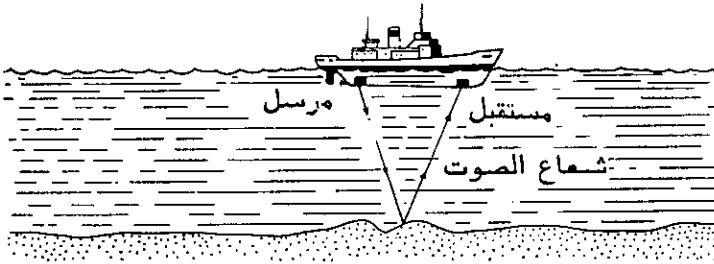
تلال منخفضة وجبال تحت بحرية (٢) ، وظهور وسط محيطية ومناطق تصدعات (٣) وسنناقشها جميعها فيما بعد . وتدل الجبال البحرية على بعض النشاط البركاني وأما التلال المنخفضة فربما تكون بركانية أيضا ولكنها قد تنشأ بفعل التصدع او بعمليات أخرى . وطالما أن الحث بطيء جدا على الارصفة المحيطية فإن المعالم الصغيرة تميل الى الدوام . وفي معظم الاجزاء يكون الترسيب بطيئا أيضا وينحصر في المناطق البعيدة عن اليابسة على الغبار الذي يسقط على المحيط وكذلك على المواد الحيوية وخاصة الاصداف التي تقع من السطح . وربما تشكل الاجزاء من الارصفة المحيطية القريبة من المنحدرات القارية أكثر السطوح نعومة . وقد يحصل ذلك نتيجة لدفن أي شذوذ في السطح بواسطة الرسوبيات التي تتحرك على امتداد المنحدرات القارية الى اسفل وربما على شكل تيارات عكر (انظر الشكل (١٦ - ٣)) .



الشكل (١٦ - ٢) : الحد القاري وقاع المحيط عند شرق الولايات المتحدة . ونرى أن
الرف القاري والمنحدر تنظمهما أخاديد بحرية . أن الأسطح المساء في قاع المحيط تحت المنحدر
القاري ناتجة على الأغلب عن الترسبات . أما الطبوغرافيا الخشنة في الجنوب الشرقي
والهضاب المنتشرة فهي ناتجة عن النشاط البركاني .

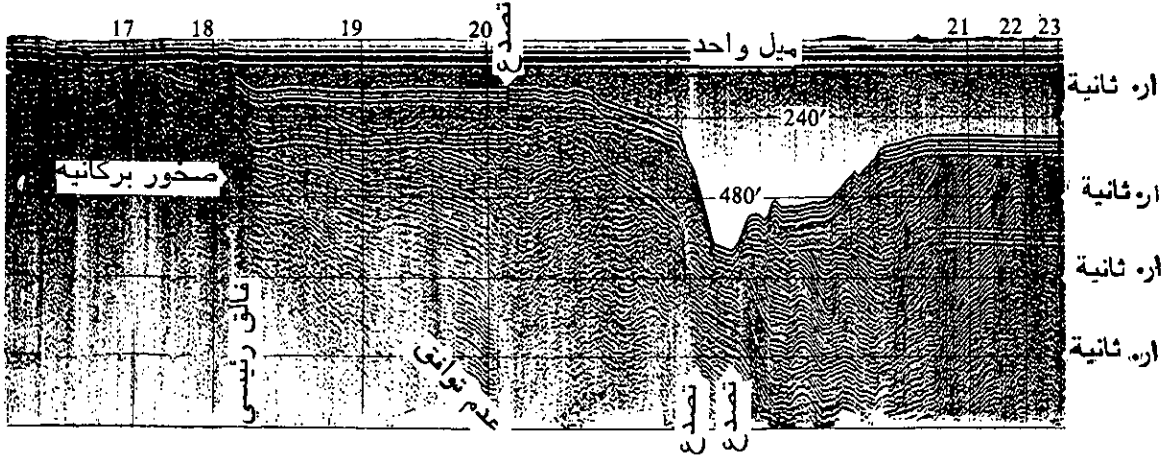
الجبال تحت البحرية

لقد بدأ مسح قيعان المحيطات فعليا في العشرينات باختراع جهاز الصدى (٤) .
 (انظر الشكل (١٦ - ٤)) . وقبل ذلك الوقت كان يؤخذ الصدى بواسطة
 ثقل معلق بسلك وقد مكنت قياسات الصدى الكثيرة التي أخذت خلال الحرب
 العالمية الثانية من اكتشاف جبال بحرية ذات قمم مسطحة . وبمناسبة السنة
 الجيوفيزيائية العالمية في اواخر الخمسينات أخذت قياسات هي من الكثرة بحيث
 أدت الى اكتشاف الوحدة بين ظهور وسط المحيط (٥) . وقد مكن من هذه
 الاكتشافات تطوير جهاز الصدى المتواصل (٦) الذي يستطيع العمل في سفينة
 تمخر في الماء . وبذلك يصبح الحصول على مقطع طوبوغرافي من القاع باستخدام
 الامواج الصوتية وباستعمال مصادر اخرى من الطاقة كالديناميت أو الشرارة
 الكهربائية ممكنا باختراق أعماق مختلفة من صخور القاع وهكذا نستطيع
 معرفة المزيد عن التراكيب . وقد تم استخدام مثل هذه الوسائل التقنية على
 الجروف القارية بشكل رئيسي اثناء التنقيب عن التراكيب التي قد تحوي بترولاً
 (انظر الشكل (١٦ - ٥)) .



الشكل (١٦ - ٤) : جهاز الصدى . العمق = نصف سرعة الصوت $\times$ زمن الصدى .

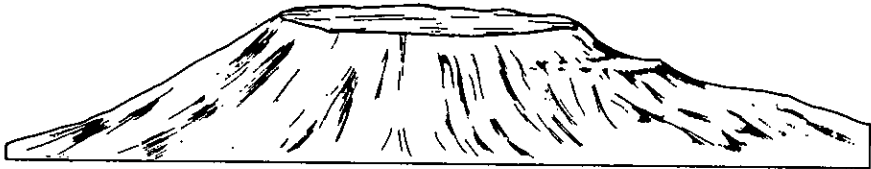
وتوجد الجبال تحت البحرية بشكل رئيسي في المحيط الهادي . ويبدو أن هذه
 الجبال التي ترتفع الاف الاقدام فوق قاعدتها تتكون من براكين بازالتية وتميل الى
 تكوين خطوط فيما بينها ويرتفع بعض من هذه كما هو الحال في جزر هاواي فوق
 سطح البحر . ولأنها تتكون على شكل خطوط يرجح انها نشأت على امتداد
 فوالق ، حيث اندفعت الماجما على امتدادها الى أعلى مع انه لا تنشأ البراكين



الشكل (١٦ - ٥) : مقطع بالقرب من جزيرة سانتا كروز ، كاليفورنيا . ينتج عن قوس كهربائي أمواج اخترقت رسوبيات القاع وانعكست راجعة إلى المرسل . ويبدو قاع المحيط واضحا من الانعكاس القوي على عمق ٣٠٠ قدم في الجهة اليمنى . أما الصخور الرسوبية التي تكون معظم المقطع فإنها تظهر متصلة مع الصخور البركانية بفعل الفالق الرئيسي على اليسار . كما أن هناك ثلاثة فوالق معنونة في الصخور الرسوبية . لاحظ أن قاع المحيط قد أزيح ٨ أقدام بفعل الفالق المدين عند القمة .

على كل الفوالق ، فهناك كثير من الفوالق الكبيرة وحتى تلك الموجودة في المحيط لا تصاحبها براكين .

ونجد قمم هذه الجبال البحرية في بعض المناطق مستوية (انظر الشكل (١٦ - ٦)) . وتقع الآن على أعماق تصل إلى ميل تحت سطح ماء المحيط . وتكن



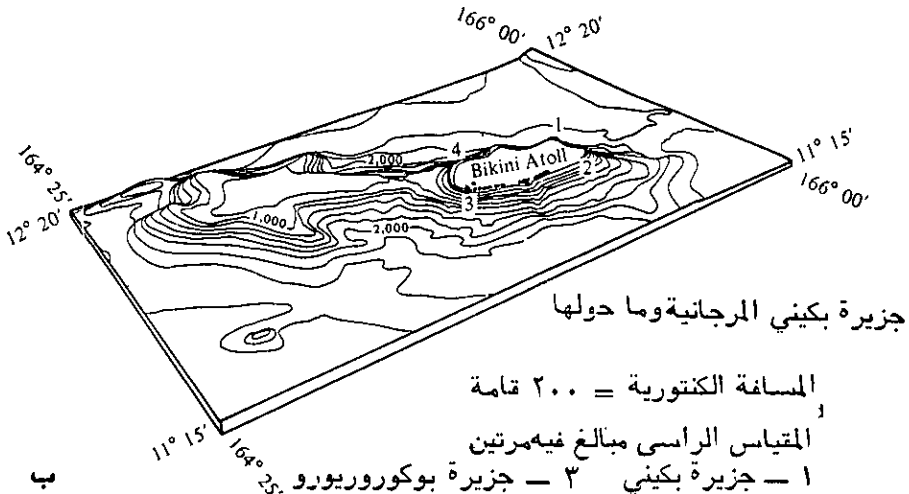
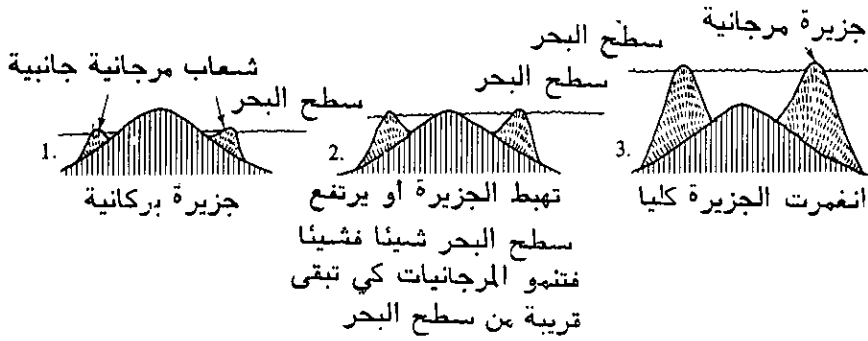
الشكل (١٦ - ٦) : مقاطع لجبال ذات قمم مسطحة . لاحظ الجدار الصغير المقطوع بفعل الأمواج .

أهميتها بشكل خاص في أن سطوحها قد تكون نتجت عن الحث بواسطة الأمواج على مستوى سطح البحر . وتؤدي بعض البراهين إلى هذا الاستنتاج . فالحث بواسطة الأمواج هو أحد الطرق القليلة التي يمكن أن تؤدي إلى نشوء مثل هذه السطوح . فنجد الشرفات المقطوعة الجيولوجيا ٣٢٠

بالأمواج تتكون الآن على الجزر الحالية وإذا استمرت هـذه العملية فإن مثل هذه الجزر لا بد وأن تصبح مستوية القمة . وقد يؤدي الانخفاض في مستوى البحر أو رفع الجزر الى الإبقاء على مثل هذه الشرفات . وهـذا ما نراه على الجزر والسواحل في يومنا هذا (انظر الشكل (١١ — ١٧)) . وقد ثبت وجود شرفات مشابهة في مقاطع أخذت لبعض الجبال البحرية المستوية القمم . (الشكل (١٦ — ٦)) . وتحتوي عينات سحبت من مثل هذه السطوح على قطع باز لثية ومستحاثات كانت تعيش في المياه الضحلة من العصر الطباشيري والعصر الذي تلاه ويدل ذلك على عمر الحت الموجي .

وقد تكشف جزر المحيط الهادي المرجانية عن حركة هبوطية . وتعيش المرجانيات في النطاق القريب من السطح مكونة شعابا مرجانية بعيدا عن الشاطئ (v) (انظر الشكل (١٦ — ٧)) وإذا ما هبطت الجزيرة ببطء كاف فإنه يكون بمقدور المرجانيات أن تبني شعابا لتبقى قريبة من السطح حيث تتزود بغذائها . وقد تستمر هذه العملية حتى تغطس الجزيرة بأكملها وربما الى عمق كبير ولا يتبقى منها الا الشعاب المرجانية . فيبلغ عمق شعاب انوتوك مثـلا ٤٥٠٠ قدم .

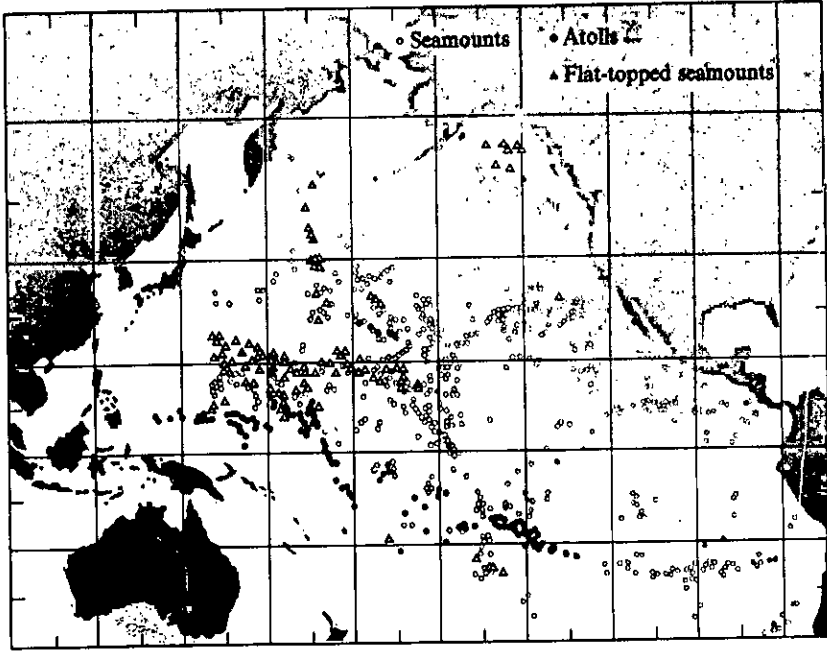
كما وتبوح الجبال البحرية بالكثير عن تاريخ المحيطات . وباعتبارها براكين باز لثية فإنها تقدم دليلا على أهمية النشاط البركاني في المحيطات . ولم يكشف من الجبال البحرية سوى حوالي (٤٠٠٠٠) فقط . وبالمقارنة مع البراكين القارية فإن هذا العدد يبقى صغيرا وهو ما يوحي بأنه إما أن البراكين تتكون بسرعة بطيئة في المحيطات أو أن قيعان المحيط ما هي الا معالم حديثة العهد . والنقطة الأخيرة هذه سوف تكون موضوعا للبحث في الفصل القادم ووجود قمم الجبال المستوية والشعاب المرجانية يكشف النقاب عن تغييرات كبيرة تحدث على مستوى ارتفاع ارضية المحيط العميقة . ويرينا الشكل (١٦ — ٨) أن توزيع الجبال البحرية المستوية القمم والشعاب المرجانية لم يكن اعتباطا وإنما هناك بالاحرى منطقة كبيرة ممتدة طوليا هبط مستواها الى اسفل وتقع في جنوب غرب المحيط الهادي وربما كان في ذلك اشارة الى موقع سابق لظهور وسط المحيط وترجع مستحاثات المياه الضحلة التي استخرجت من الاسطح المستوية للجبال



٢ - جزيرة انيو ٤ - جزيرة نامو

الشكل (١٦ - ٧) : جزر مرجانية : (١) - تطورها . (ب) - شكل تقريبي
لجزيرة بكيني المرجانية وكذلك جبل سلفانيا البحري ذو السطح الأفقي في الغرب . لقد تكررت
جزيرة بكيني فوق سطح مستو على غير ما هو مبين في الشكل (١) . ويقع معظم الجزيرة
تحت البحر ، ولا يظهر منها الاجزاء صغيرة تبدو كجزر في الشكل .

البحرية الى العصر الطباشيري وما تلاه ، وفي ذلك دليل على زمن حصول الهبوط
لاحظ ان الشعاب المرجانية توجد بشكل رئيسي على الجناح الجنوبي لهذه المنطقة
ما يدل على ان الطقس ربما كان هو المنظم لعملية نمو المرجانيات . اما مناطق
نمو الشعاب المرجانية حالياً فهي محددة بحوالي (٣٠) درجة على كل جانب
من خط الاستواء . واعماق الجبال البحرية الحالية ليست منتظمة تحت مستوى
سطح البحر ، ولذلك وكما ورد سابقا فان الاختلاف النسبي في الهبوط ربما
يكون له اثر على نمو المرجانيات .



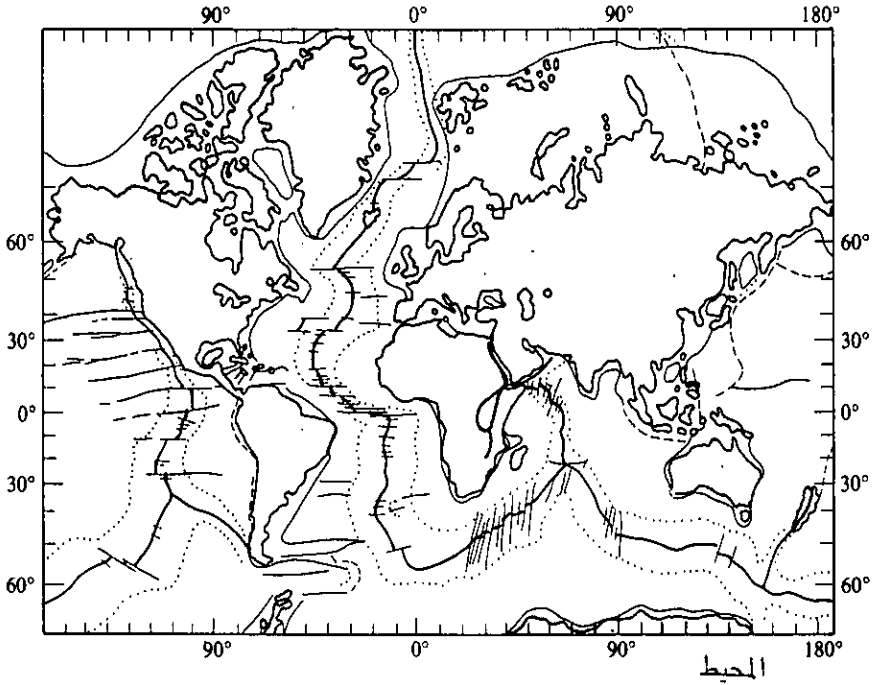
الشكل (١٦ - ٨) : خريطة المحيط الهادي وتظهر فيها جبال بحرية واخرى ذات قمم مسطحة . ويشير وجود هذه البراكين على شكل خطوط الى وجودها على امتداد فوالق . أما الجزر المرجانية فتقع معظمها ضمن حدود المياه الدافئة داخل ٣٠ درجة عن خط الاستواء . وتشكل الجبال البحرية المسطحة القمة كذلك مجموعات فيما بينها .

Mid-ocean Ridges

ظهور وسط المحيط

تشكل هذه المرتفعات اطول السلاسل الجبلية الممتدة على الارض بدون انقطاع ، ويمكن رؤية امتدادها على الخريطة في (الشكل ١٦ - ٩) ويبلغ طولها حوالي ٤٠.٠٠٠ ميل ، بينما يتراوح عرضها بين ٣٠٠ - ٣.٠٠٠ ميل ، ويصل ارتفاعها عمق قاعدتها الى (١٠.٠٠٠) قدم وتشكل أعلى النقط فيها جزرا في بعض الاماكن . وهناك جزران معروفان جيدا من هذه السلسلة وهما : ظهر المحيط الاطلسي وظهر المحيط الهادي الشرقي .

لقد عرف ظهر وسط المحيط الاطلسي منذ سنوات عديدة لان جزرا مثل : ايسلاند ، والازور ، وسانت باول ركس ، استنشن - سانت هيلينا وكذلك تريستان داكونها تعتبر اجزاء منه . أما انها جزء من معالم اكبر بكثير فلم يكن معروفا حتى الخمسينات حيث ازدادت معرفتنا عن طبيعتها عندئذ نتيجة لقياسات



١- فوالق جانبية رئيسية ٢- الموقع الرئيسي لوائي الانهدام

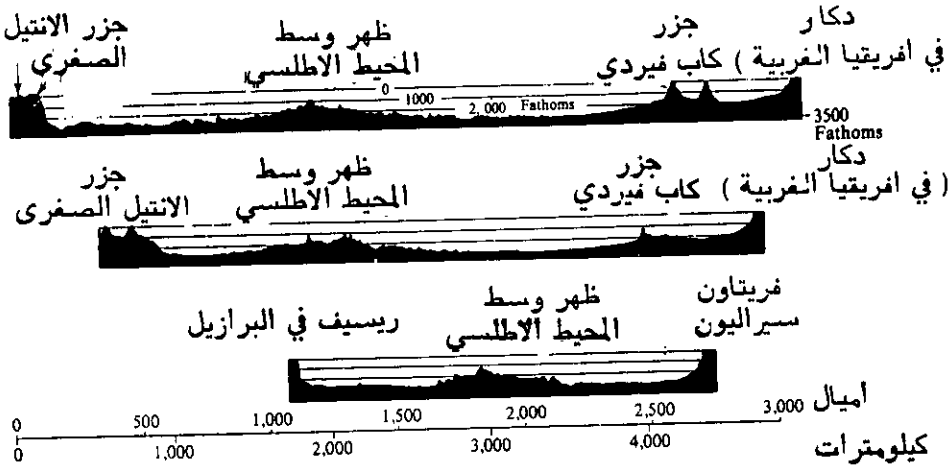
٣- ظهر وسط المحيط ٤- أخدود بحري عميق

القارات

٥- حدود الكتلة القارية

الشكل (١٦ - ٩) : ظهر وسط المحيط والملاجع المرافقة لذلك .

الصدى الكثيرة التي أخذت . وهي تتكون من العديد من السلاسل — وخطوط من القمم موازية للسلسلة الرئيسية وممتدة على الاطراف خارجيا عدة مئات من الاميال — (الشكل (١٦ - ١٠)) . ويحتوي النطاق الاوسط المرتفع على حفرة انهدام (٨) او اثنتين غير متواصلتين وقد يصل عرضها الى ثلاثين ميلا . وبناء على هذا الوضع الطبوغرافي بالاضافة الى نشاط الظهر الزلزالي وما هو معروف من وجود العديد من المراكز الزلزالية عليه يظن بانـه قد تكون نتيجة لحدوث سلسلة من الكتل الفالقية (٩) . وقد بينت العينات (١٠) التي أخذت من الصخر الاساسي انها باز لتيسة وبعض منها حطامية نارية



الشكل (١٦ - ١٠) : مقاطع طبوغرافية عبر المحيط الأطلسي تبين ظهر وسط المحيط الأطلسي ، (الرسم مبالغ فيه ٤٠ - ١)

ويبدو أن بعض القمم التي تشكل فيها بينها خطوطا ما هي إلا براكين باز لتيه تكونت على امتداد الفوالق . (انظر الشكل (١٦ - ١١) وفي كثير من



الشكل (١٦ - ١١) : قاع المحيط في ظهر وسط المحيط الأطلسي . صخور باز لتيه وبعض الكائنات الحية تبدو موجودة في قاع البحر .

الاماكن يتم تحويل مسار هذه المعالم حيثما تلتقي مع ما يبدو على انها فوالسق عرضية (١١) حيث تظهر عليها ازاحة افقية كبيرة كما يبين الشكل (١٦-٩) .

ولقد امكن دراسة ظهر وسط الاطلنطي مباشرة عن طريق الجزر القليلة التي هي جزء منه . وهي جزر باز لتية بشكل رئيسي كما ان النشاط البركاني الحديث العهد على جزر تريستان داكونها وايسلاند كان باز لتيا ايضا . اما سانت بيتر وسانت باول روكس فهي عبارة عن جزر صغيرة على الظهر وجد فيها سسـا بريدوتايـت منفصـم (١٢) او ميلونايت . وقد قدر عمرها بواسطة التاريخـ انشعـامـي بأربعة ونصف مليار سنة . وكما سوف نرى في الفصل العشريـن فان هذا هو تقريبا الزمن الذي يعتقد بان الارض تبلورت فيه . ولهذا فان تكوين وعمر هذه الصخور يوحي بانها ربما كانت مواداً قادمة من الستار الارضي وقد تكون وصلت بشكل ما الى السطح خلال عملية تكوين الظهر . كما انه تم العثور على البرودوتايـت في المحيط الهندي وفي اماكن اخرى يشكل الباز لت (بها فيـه الجابرو) الجزء الرئيسي من الصخور مع بعض السرينيتين . وتبر حفرة الانهدام الوسطي من ايسلاند . ربما يتراوح اتساعها بين (١ - ٢٤٠) ميلا بالرغم من عدم وجود دليل واضح على ذلك . الا ان هذه النقاط سوف تناقش بالتفصيل في الفصل السابع عشر حينما نأخذ بالاعتبار منشأ الظهور المحيطية .

وعثر في اماكن اخرى من سلسلة الاطلنطي على باز لت متحول . وهو في ذلك مثله كالبرودوتايـت يدل على حدوث حركة راسية للمواد .

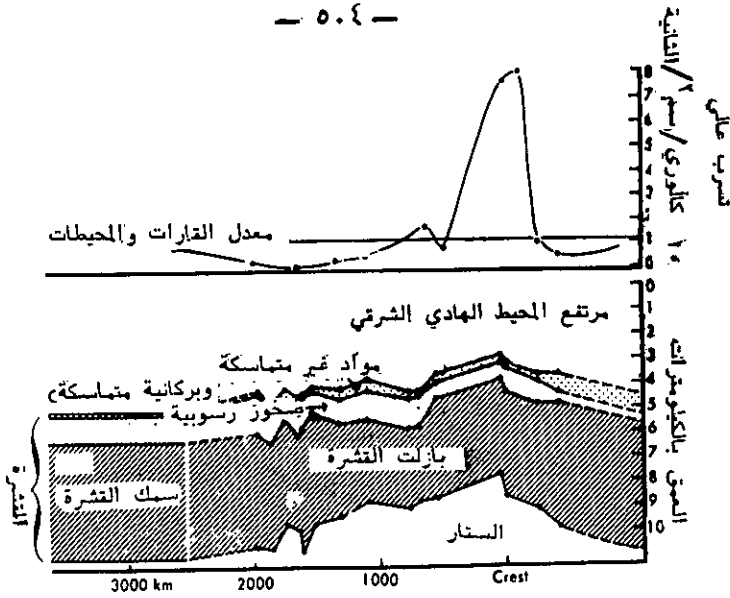
اما مرتفعات المحيط الهادي الشرقية (١٣) فتشبه ظهر الاطلنطي . فهناك تشابه في الطوبوغرافيا كما انها تعتبر منطقة ذات نشاط زلزالي . ويصل ارتفاعها الى ثلاثة اميال فوق القاعدة ويبرز منها جزر الجالاباجوس والايستر . وتلتقي مع أمريكا الشمالية مباشرة جنوب باجا كاليفورنيا لتخرج مرة أخرى في شمال كاليفورنيا منتهية عند كولومبيا البريطانية . وقد شوهد من القياسات التي أجريت على مرتفعات المحيط الهادي الشرقية بأن التسرب الحراري (١٤) قرب القمة يرتفع الى خمسة اضعاف المعدل العام بينما هو على الاطراف اقل بكثير من المعدل (انظر الشكل (١٦ - ١٢) . ويمتد هذا التسرب الحراري العالي

11. Cross-faults

12. Sheared Peridotite

13. East Pacific Rise

14. Heat Flow



الشكل (١٦ - ١٢) : مقطع رأسي يبين التسرب الحراري عبر مرتفع المحيط الهادي الشرقي . ان التسرب الحراري هنا عال جدا على قمة المرتفع ، ولكنه أقل من المادة في الجوانب . ان القشرة تعتبر رقيقة على المرتفع . اما المقطع في اليسار فانه يمثل معدل التسرب في المحيط .

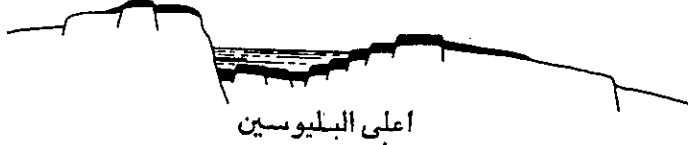
الى داخل خليج كاليفورنيا . وقد اظهرت الدراسات الزلزالية (السايزمية) التي اجريت بواسطة التفجيرات تحت المائية بان القشرة الارضية تحت مرتفعات المحيط الهادي تساوي فقط ثلاثة ارباع سمكها في أي مكان آخر من المحيط الهادي .

وبعبر ظهر وسط المحيط الى داخل افريقيا ليلتقي مع أودية حفرة الانهدام الافريقية (١٥) الذي كان يعتقد بأنه فريد من نوعه حتى تم اكتشاف الظهور المحيطية وعلى أمل معرفة المزيد عن هذه المرتفعات فان تلك المناطق الافريقية تدرس بعناية كبيرة . الا انها تشبه حفرة الانهدام الموجودة على الظهور الوسط محيطية ويصاحبها بروز هضاب عالية مما يدل على حدوث رفع كما هو الحال في المرتفعات المحيطية .

وليست أودية حفرة الانهدام الافريقي كلها من نفس العمر ومعظم الدلائل تشير الى نشاط جيولوجي حديث العهد كما هو الحال بالنسبة للبراكين وكذلك التغيرات في مستوى الارتفاع التي تدل عليها أنظمة التصريف . والبراكين ليست من نوع البازلت العادي وانما هي صخور غنية بالقلويات ، وبمضئ انواعها يعتبر نادر الوجود للغاية (انظر الشكل (١٦ - ١٣)) .



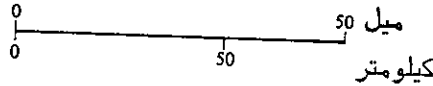
- ١ - البراكين تنفجر على قمة المرتفع .
٢ - تصدع في الجانب الغربي ، انهدام والنواء في الجانب الشرقي .



- ٣ - تصدع في قاع الانهدام وتجهيد في الحركة على الكسور الرئيسية . ملامح جديدة تظهر على اكتاف الانهدام .
٤ - نشاط بركاني في قاع الانهدام .



- ٥ - ارتفاع اخر في اكتاف الانهدام . وتجهيد في الحركة على امتداد صدوع قاع الانهدام . ثم تظهر كسور أكثر في المنطقة الوسطى .
٦ - براكين وكتل بازالتية صغيرة تتكون في قاع الانهدام . وتظهر بعض البراكين على اكتاف الانهدام .



الشكل (١٦ - ١٣) : تطور وادي الانهدام المركزي في كينيا

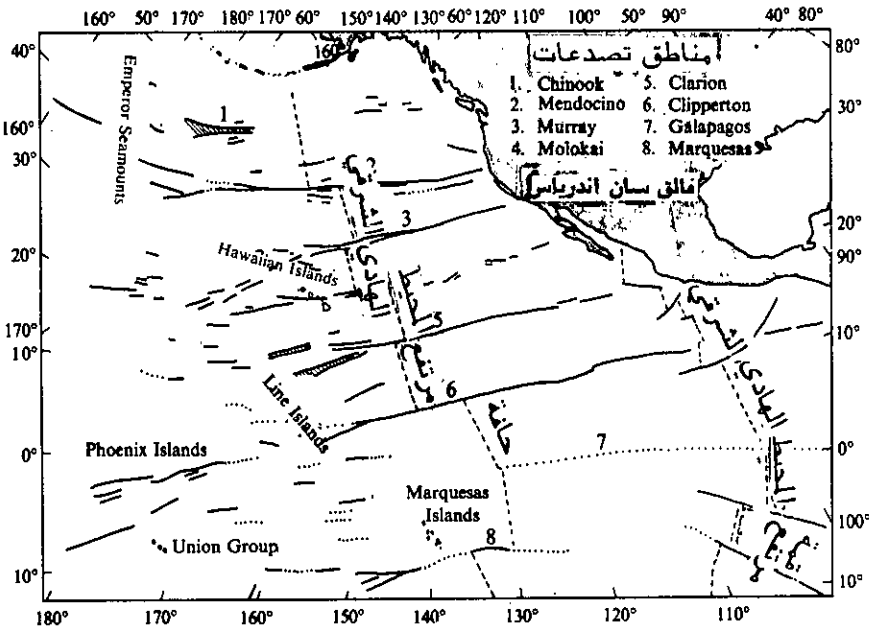
وكذلك تم اختراق تركيبات غير عادية في اجزاء من غرب الولايات المتحدة حيث تعبر مرتفعات المحيط الهادي الشرقية الى داخل القارة . ويعتبر فائق السان انديراس الذي مر وصفه سابقا فالقا طويلا بشكل غير عادي . وكذلك هضبة الكولورادو تعتبر غير عادية من حيث ارتفاعها وعدم تشويهها رغم انها محاطة بالجبال . وعندما نعرف المزيد عن التراكيب في افريقيا سنتمكن من معرفة معالم مماثلة . وكذلك يعتبر نوع اقليم الحوض المصدع والسلسلة قاري التركيب ولكنه غير شائع ايضا والى حد ما يعتبر مشابها لجوانب الظهور الوسط محيطية المصدعة . كما ان تراكيب البحر الاحمر وخليج كاليفورنيا تعتبر مشابهة بعض الشيء للتراكيب التي تصاحب حفر الانهدام على الظهور المحيطية (انظر الفصل السابع عشر) وقد تكون بعض هذه التراكيب غير العادية ذات علاقة مع مرتفعات المحيط الهادي الشرقية .

Fracture Zones

مناطق التكسير

وهي مناطق كسور وغوالق وكل منها يعتبر كالمرتفعات المحيطية من معالم المحيط البارزة ويدل التحويل الواضح في مسار ظهور وسط المحيطات كما نراه في (الشكل ١٦ - ١٩) على احتمال وجود بعض الغوالق . وقد تكون الأزاحة الإجمالية للجزء الجنوبي من ظهر وسط المحيط الأطلنسي كبيرة جدا ، وحديثاً تم اكتشاف أزاحة المسار عند شمال شرق جرينلاند ربما تصل إلى (٣٠٠٠) ميل ووجدت معالم مشابهة ضمن مرتفعات المحيط الهادي الشرقية في شمال شرق المحيط الهادي . وفي هذه المنطقة وجدت مناطق كسور عظمى كما يوجد فيها فائق سان اندرياس .

ونظهر في الشكل (١٦ - ١٤) مناطق كسور المحيط الهادي وتقيم في غالبيتها مسارات دوائر عظيمة تتراوح أطوال الكبيرة منها بين (٢٥٠٠ - ٦٠٠٠) ميل .



الشكل (١٦ - ١٤) : مناطق الكسور الرئيسية في المحيط الهادي . وتعتبر المنطقة المظلة عن جبال بركانية بحرية . أما الأزاحة المحتملة في مناطق الكسور فتبدو جلية عند أطراف مرتفعات المحيط الهادي الشرقية المزاحة .

وتعتبر منطقة كسور مندوكينو أقصى تلك الممتدة شمالا : وهي مشتقة في معظمها من مسار دائرة كبيرة يزيد طولها عن (٣٥٠٠) ميل ولها جدار مطل على الجنوب ويصل ارتفاعه الى (٨٦٠٠) قدم . أما منطقة كسور الموري فيبلغ طولها حوالي (٢٥٠٠) ميل . ولها قمة جدار مطل على الشمال ويرتفع الى (٧٠٠٠) قدم . وأما منطقة كسور مولوكاي فهي اقل انتظاما من الاخريات . بينما تشكل منطقة كسور كلاريون خسوفا — قاعا ممتدا يصل عمقه الى ميل على امتداد معظم طوله . ويزيد طول منطقة كسور كليبرتون عن (٦٠٠٠) ميل ، فتأخذ بذلك حوالي ربع محيط الكرة الارضية : وهي منطقة يبلغ عرضها (٥٠) ميلا تقريبا وتضاريسها غير منتظمة تتراوح بين (١٠٠٠ — ٢٠٠٠) قدم وهي اقل وضوحا من مناطق الكسور الاخرى . وتدل الدراسات الساييزمية على ان سمك القشرة يتغير فجأة في بعض اجزاء مناطق الكسور هذه . ويعتقد ان هذه المناطق ماهي الا فوالق . وقد وضعت في الشكل ١٦ — ١٤ احتمالات الازاحة في بعض المعالم . وكذلك تشير البيانات المغناطيسية التي سوف يرد بحثها في الفصل الثامن عشر الى وجود فوالق . أما مناطق الكسور فلا تستمر في الامتداد الى داخل القارة . وتقاطع بعض الجزر البركانية مناطق الكسور كما هو الحال في جزر هاواي ولكن بدون ازاحة مما يبعث على الاعتقاد بأن تلك الجزر احدث عمرا من الكسور . ويغطي الفتات الذي مصدره تلك الجزر مناطق الكسور في بعض الجهات .

الحدود القارية المحيطية

Continent-Ocean Borders

ان التغير في الارتفاع بين القارات والمحيطات هو أحد المعالم الرئيسية التي تظهر على الرسم البياني في الشكل (١٤ — ١) . وبالاستطاعة تمييز نوعين من الحدود القارية المحيطية بسهولة وهما : المنحدرات القارية التي تعتبر جيولوجيا مستقرة نسبيا والجزر القوسية البركانية النشطة . وبالرغم من ان هذين النوعين يبدوان وكأنهما مختلفان فان الابحاث المستقبلية قد تبين بأن هناك صلة بينهما . وقد سبق وشرحنا عملية الترسيب على الرف والمنحدر القاري .

Continental Slope

المنحدر القاري

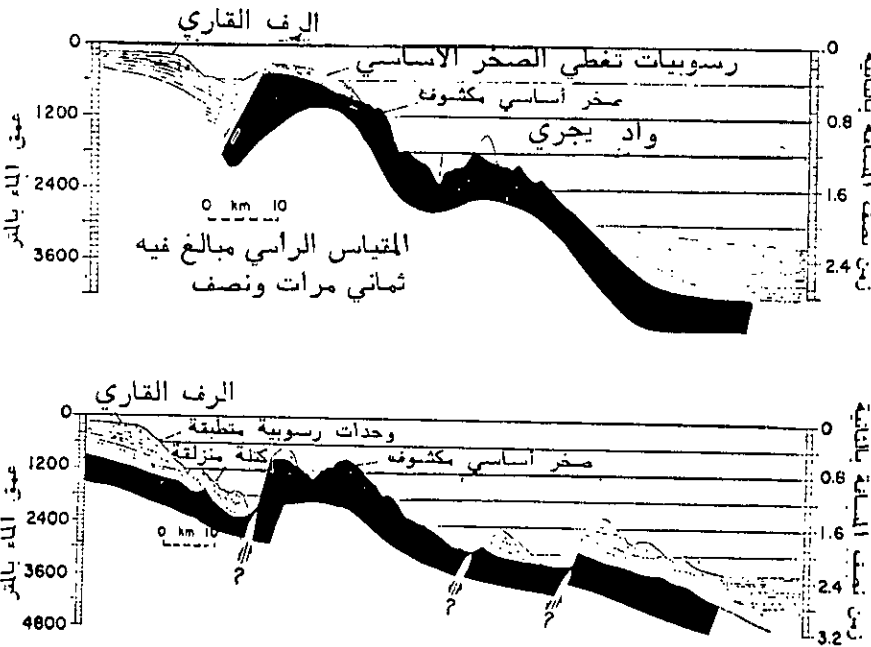
يبدو وكأن المنحدر القاري يظهر على أنه هو الأبسط من انواع الحدود ، غير ان هذا قد يكون ظاهريا فقط بسبب عدم وجود معلومات عن تركيب القشرة . يبدأ المنحدر القاري فجأة عند طرف الرف القاري . ويبلغ معدل عرض الرفوف (١٦) في العالم حوالي (٤٢) ميلا ويتراوح مداها من الصفر تقريبا وحتى الثمانئة ميل . أما معدل عمقتها فهو حوالي (٢٠٠) قدم وتتبع حافتها عرما على عمق يقع بين (٤٠٠ — ٥٠٠) قدم مع أن مداها يتراوح بين مستوى سطح البحر و (١٥٠٠) قدم . أما زاوية الانحدار فتتغير من عشرة اقدام للميل الواحد عند الجرف القاري الى (٢ — ٦) درجة على المنحدر بعد مسافة عشرين ميلا . وإذا ما قورن ذلك بمعدل الانحدار في معظم السلاسل الجبلية فان خمسة درجات تعتبر انحدارا كبيرا . ويبلغ معدل الهبوط على المنحدر القاري (١٢٠٠) قدم تقريبا كما ان زاوية الانحدار تصل تدريجيا مع ازدياد العمق مما يجعل التمييز بين الارصفة المحيطية والمنحدر مهمة صعبة ولهذا تقتصر المنحدرات على بضعة عشرات من الاميال في معدلها .

ويعتبر ساحل الولايات المتحدة الشرقي نموذجا على المنحدرات القارية (١٦ — ١) ويشبه ذلك معظم مناطق الساحل الغربي غير أننا نجد هنا بالإضافة لذلك مرتفعات المحيط الهادي الشرقية وكذلك نجد مناطق الكسور .

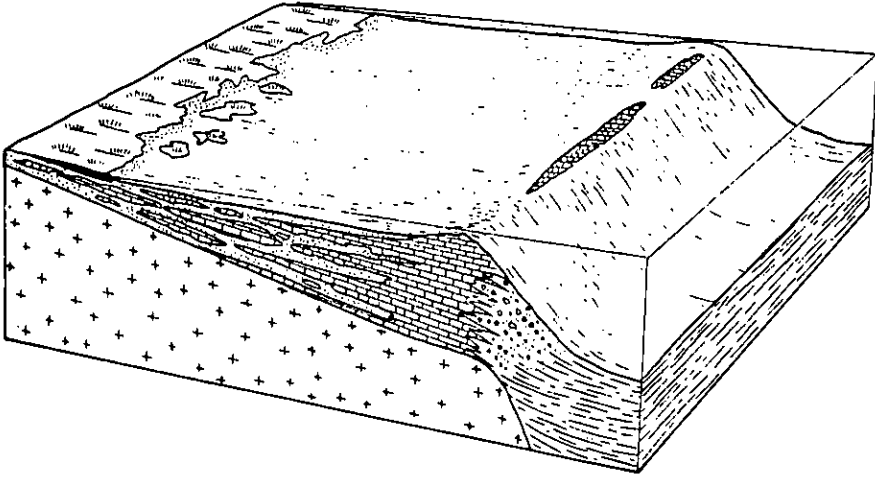
تتكون المنحدرات القارية من الرسوبيات وذلك على الأقل بالقرب من السطح . ويبقى السؤال فيما اذا كان المنحدر يعتبر منطقة صت او ترسيب . وكما بينا في الفصل الرابع فان هناك أودية بحرية (١٧) تقطع المنحدر القاري في عدة اماكن . وهو ما يعنى انه على الأقل في هذه الاماكن يقوم الحث بتصغير زاوية المنحدرات القارية . ومهما يكن من أمر فانه يحدث ترسيب ايضا ، وكما في الفصل الرابع قد وصفنا الرسوبيات . كما وانه يجري تعديل على المنحدرات القارية نتيجة بناء الدلتا بواسطة الانهار الكبيرة . ويبلغ معدل زاوية الدلتا اقل من درجة ونصف وهو بذلك اقل بكثير من المنحدرات القارية مما يعني ان المنحدرات القارية

ليست موحدة البناء . وقد يحدث بعض الحث بسبب التيارات العميقة الموازية للمحدرات تماماً مثلها يحدث نتيجة حركة تيارات العكر^(١٨) . وقد يتجرد المنحدر في بعض الأماكن من الرسوبيات غير المتماسكة . (انظر الشكل (١٦ - ١٥)) . وهكذا فإن العمليتين : الحث والترسيب تحدثان على المنحدرات القارية . ويرينا الشكل (١٦ - ١٦) تكوين بعض المنحدرات القارية بواسطة الشعاب المرجانية . والشعاب الحاجزية^(١٩) في استراليا يعتبر مثلاً على ذلك .

لقد دلت الدراسات السائزمية على أن القشرة القارية تنتهي عند المنحدر القاري . إلا أن تفاصيل التركيب في هذه المنطقة لا تزال غير واضحة . وقد اعتقد البعض بأن المنحدرات القارية تعود في نشوئها إلى التصدع بسبب نشاطها السائزمي . وقد تتدرج هذه المنحدرات القارية المعقدة حتى تصل الجزر القوسية البركانية النشطة . وسوف نأخذ بالاعتبار الجيوسكلينات في الفصل القادم حيث يقوم احتمال كون الرف القاري جزء منها وقد يكون المنحدر القاري الجزء الأكبر نشاطاً فيها .



الشكل (١٦ - ١٥) : تركيب المنحدر القاري غرب الاسكا كما تبينه مقاطع انعكاسات الصدى .

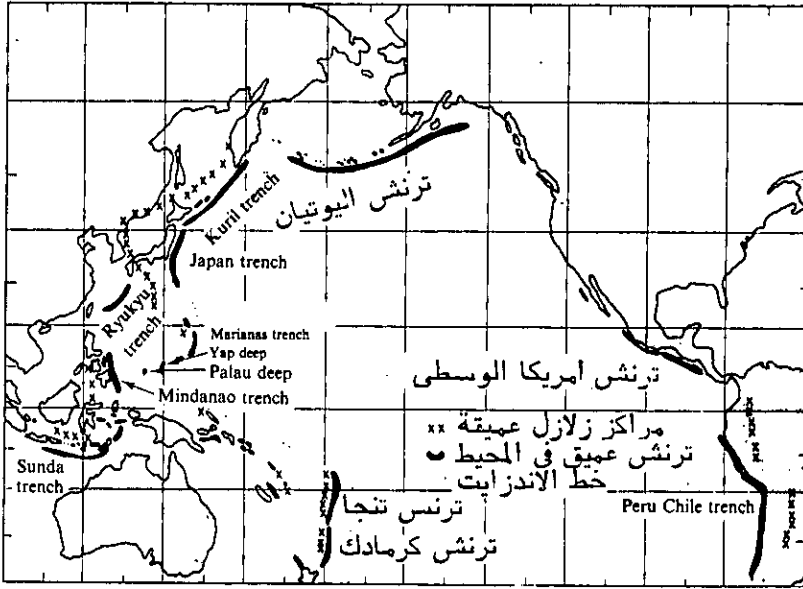


الشكل (١٦ - ١٦) : تكون هنا المنحدر القاري من الشعاب المرجانية . وتمتد
المرجانيات حاجزا يمنع نقل الحطام من الأرض اليابسة .

Island arcs

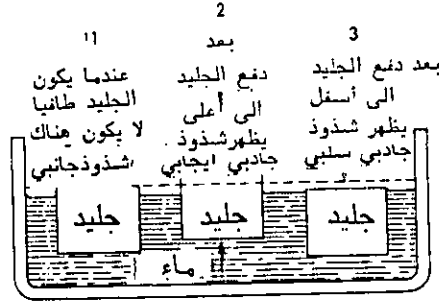
الجزر القوسية

وفي أماكن أخرى وخصوصا على أطراف المحيط الهادي تعتبر الحدود أكثر نشاطا متضمنة سلاسل من جزر بركانية ومكونة اقواسا . (انظر الشكل (١٦) — ١٧) . وقد ورد ذكر الجزر القوسية مبكرا اثناء تاريخ جيولوجية المحيطات . غير انه لم يأت تمييز كثير من معالمها الا متأخرا جدا . ومع ان علم المحيطات كان قد بدا في السبعينات من القرن الماضي برحلة السفينة تشالنجر ، الا انه لم يكن هناك الا القليل من التفاصيل وذلك حتى جاءت العشرينات من هذا القرن وتسم استخدام اجهزة الصدى لأول مرة . وحالا اكتشفت اخاديد عميقة (٢٠) موجودة على جهات سلاسل الجزر البركانية المواجهة للمحيط . وخلال العشرينات والثلاثينات طور الجيولوجي الهولندي فيننج ماينز طريقة لقياس قيمة التجاذب الأرضية (٢١) في البحر بطريقة تعتمد على قياس فترة البندول وقد استعمل غواصات الاسطولين الهولندي والامريكي لتجنب تأثير امواج المحيط . وقد توصل الى اكتشاف في غاية الاهمية وهو ان تسارع الجاذبية (٢٢) يكون قليلا فوق تلك الاخاديد العميقة .

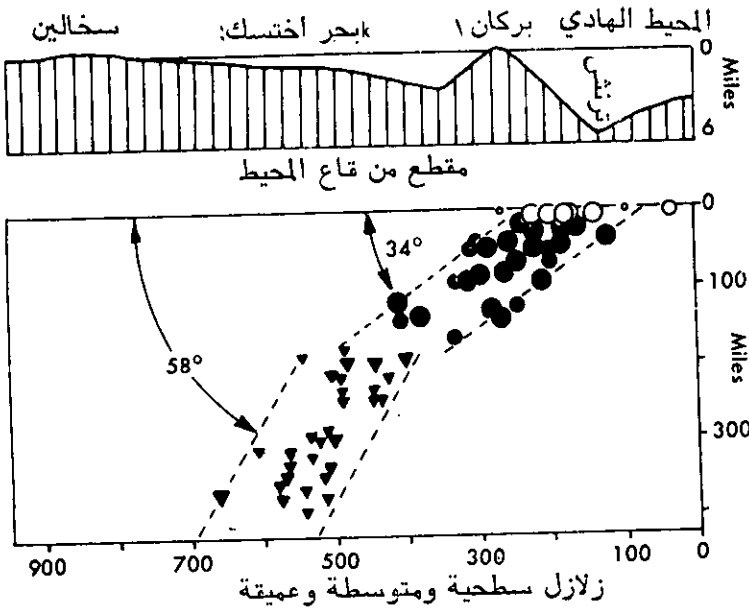


الشكل (١٦ - ١٧) : خريطة للمحيط الهادي تبين العلاقة بين الجزر القوسية ومراكز الزلازل العميقة والترنشات العميقة . على الجانب القاري من خط الاندزات نجد صخورا اندزائية . أما في جهة المحيط فنجد باز لانا . أما مراكز الزلازل القريبة من السطح فهي تقع بين الزلازل العميقة والجزر القوسية .

ويوضح هذا الاكتشاف أن تكوين هذه الاخاديد العميقة كان مخالفا لعملية حفظ التوازن ، حيث ينعكس التوازن محليا . (انظر الشكل (١٦-١٨) . كما وتعتبر الاقواس الجزرية نشطة زلزاليا وفي نفس الوقت تقريبا كان قد اكتشف أن بعض الزلازل تأتي من العمق البعيد ، أي من الستار الأرضي (انظر الاشكال (١٦ - ٧) و (١٦ - ١٩) . ومثل هذا التركيز من المعالم على نطاق ضيق من الحدود بين القارة والمحيط لابد وأن يكون له مردود هام جيولوجيا . ومع أن الاقواس الجزرية البركانية تكشف الستار عن العديد من المشاكل إلا أنها تفسح المجال أيضا للاطلاع على العمليات الأرضية . وتتكون البراكين هذه من الاندزات (٢٢) . وقد وجدت بعض الباثولايت الصغيرة ذات التركيب الكيميائي المشابه في بعض تلك الجزر كما هو الحال في جزر الاليوتيان . وهذا أيضا هو تركيب البراكين في جبال الانديز بأمريكا الجنوبية وسلسلة الكاسكاد بأمريكا الشمالية التي تشكل سوية مع الاقواس الجزرية ما كان أطلق عليه



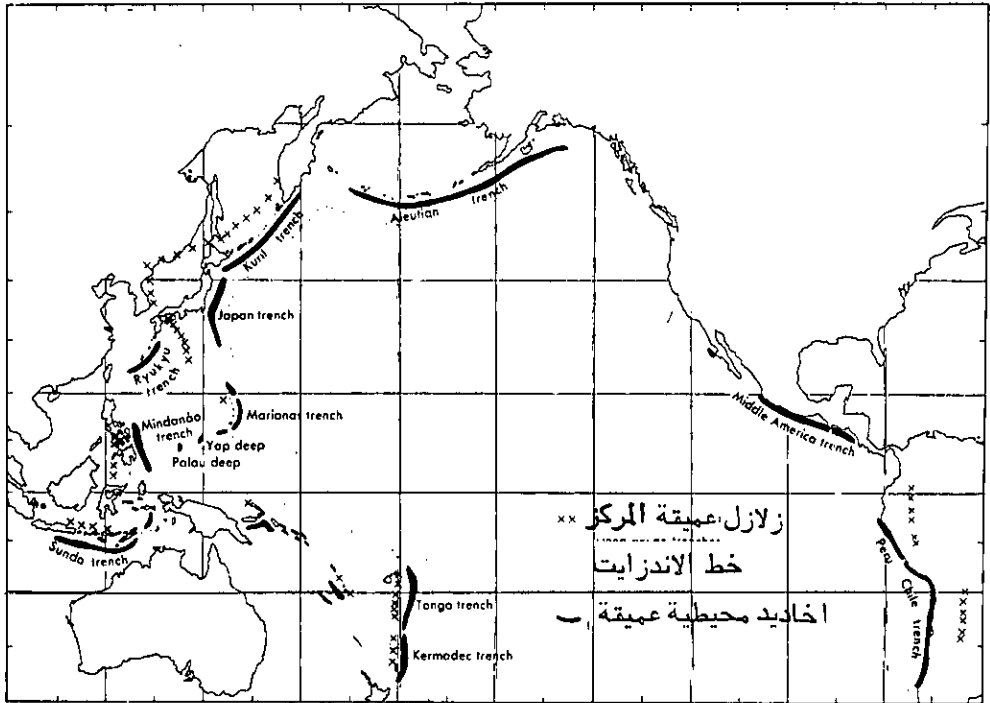
الشكل (١٨-١٦): Gravity anomalies شذوذ الجاذبية في المحطة رقم (١) عادية . وفي رقم (٢) يكون المسحب الجاذبي أكبر لأن كتلة أكبر موجودة تحت المحطة . أما في المحطة رقم (٣) فهناك كتلة أقل تحتها ولذا تصبح قوة الجاذبية أقل .



الشكل (١٦ - ١٩) : مواقع مراكز الزلازل مضطربة بالجزر القوسية البركانية . ويمكن أن يحدد المركز مكان سطح فالقي . وتظهر مراكز الزلازل القريبة من السطح على شكل دوائر مفتوحة والمتوسطة على شكل حلقات مغلقة . أما العميقة فقد أعطيت شكل مثلثات . الإشارات الصغيرة تدل على شدة الزلازل ما بين ٦ و ٦.٩ . والمتوسطة تدل على شدة الزلازل ما بين ٧ و ٧.٧ . والإشارات الكبيرة تدل على شدة الزلازل مسن ٧.٧ إلى ٧.٩ (السطحية منها فقط) .

الاسم الشاعرى اطار النار ^(٢٤) على المحيط الهادى . ويوحى المنخفض المحيطى العميق الممتد أمام أمريكا الجنوبية والزلازل ذات المركز العميق فى داخل القارة بأن التركيب هناك قد يكون مشابها لما فى اقواس جزر غرب المحيط الهادى . ويستدل من الخصائص السلبية للجاذبية بالقرب من سياتل على وجود وجه شبه مع الجزر القوسية . أما الجزر البركانية فى الجهة المقابلة للمحيط من الحزام الاندزيتى البركاني فجميعها بازلتية . (انظر خط الاندزيت فى الشكل (١٦ - ١٧)) . وتقع مراكز الزلازل القريبة من السطح (٣٥ ميلا او اقل) والمتوسطة العمق (٣٥ - ١٨٩ ميلا) على سطورح موازية للجزر القوسية وبميل يبلغ (٣٥ °) تقريبا تحت القارات .

وتحصل الهزات الأرضية عميقة المركز (١٨٠ - ٢٤٠ ميلا) على اطراف



الشكل (١٦ - ١٧) : خريطة للمحيط الهادى تبين العلاقة بين الاقواس الجزرية ومراكز الزلازل العميقة والترنشات العميقة . على الجانب القارى من خط الاندزيت نجد صخورا اندزيتية . أما فى جهة المحيط فنجد بازلتا . أما مراكز الزلازل القريبة من السطح فهي تقع بين الزلازل العميقة والاقواس الجزرية .

المحيط الهادي فقط (انظر الاشكال (١٦ - ١٧) و (١٦ - ١٩)) . وتلك
تخبرنا الكثير عن التراكيب العميقة وبراكزها تقع على سطح هو استمرار لذلك
الذي تقع عليه مراكز الزلازل القليلة العمق والمتوسطة الا أن ميلانها يصل الى
(٦٠) درجة . ويحدث التغير في الانحدار على عمق (١٨٠) ميلا تقريبا مشيرة
بذلك الى أن التراكيب القارية تمتد بشكلها الى هذا العمق .

وتعتبر حافة المحيط الهادي جيولوجيا منطقة نشطة ومن خلال دراستها
يمكن تفهم العمليات الجيولوجية . ويدل وجود الفوالق الجانبية على أن المحيطات
كانت قد تحركت بعكس اتجاه عقارب الساعة بالنسبة للقارات ، علما بأنه ليس
لجميع الفوالق الجانبية ذلك الاتجاه في الحركة . الا أن زوايا الاطار العام لحوض
المحيط الهادي تحول دون حدوث حركة من هذا النوع بمقياس كبير . وتستطيع
الحركات الاولى لامواج الهزات الارضية التي تسجل في محطات الرصد الزلزالي
أن توغر بعض المعلومات عن اسباب حدوث تلك الزلازل وعملية التحليل هي في
واقعها معقدة وتدع المجال مفتوحا لعدة احتمالات . ومثل هذه الدراسات تشير
الى وجود انضغاط حول المحيط الهادي ولكن القوى ليست عمودية على امتداد
الساحل الغربي لامريكا الشمالية او في جنوبي امريكا الجنوبية وهناك فرق اخر
بين الطرف الامريكي من المحيط الهادي وبقية الحدود يكمن في تكوين الاتواس
« الجزرية » البركانية على القارة في الجهة الامريكية (جبال الكاسكاد والانديز)
بينما هي في بقية الاماكن قد تشكلت في المحيطات .

أسئلة

- ١٦ — ١ اي نوع من الرسوبيات توجد على الارصفة المحيطية ؟
- ١٦ — ٢ صف جبال المحيط الهادي البحرية (تكوينها — ترتيبها — الخ) .
- ١٦ — ٣ كيف يتم تشكيل الجبال البحرية ذات القمم المسطحة ؟ وماذا يعني هذا بالنسبة لتاريخ المحيطات ؟
- ١٦ — ٤ كم يبلغ طول الظهور وسط المحيطية ؟
- ١٦ — ٥ صف مقطعا يمر في ظهر وسط المحيط (قد يساعدك الرسم) .
- ١٦ — ٦ ما هو الدليل على وجود تصدع في ظهر وسط المحيطات ؟
- ١٦ — ٧ صف مناطق الكسور في المحيط الهادي .
- ١٦ — ٨ كيف يتم التمييز بين القارة والمحيط ؟
- ١٦ — ٩ ارسم الحدود القارية المحيطية عند مكان مستقر ، وضع عليها أسماء الاجزاء .
- ١٦ — ١٠ ماذا يعني شذوذ الجاذبية السالب ؟
- ١٦ — ١١ اقم بوصف جزيرة قوسية نموذجية وارسم مقطعا لذلك .
- ١٦ — ١٢ لقد اقترح بأن مرتفعات المحيط الهادي الشرقية تعبر الى القارة بالقرب من الساحل الغربي لشمال امريكا . كيف تشارن التراكيب في تلك المنطقة مع التراكيب الموجودة على ظهور وسطح المحيطات ؟

مراجع اضافية

- Bullard, Sir Edward, "The Origin of the Oceans," *Scientific American* (September, 1969), Vol. 221, No. 3, pp. 66-75.
- Burke, K. C., and J. T. Wilson, "Hot Spots on the Earth's Surface," *Scientific American* (August, 1976), Vol. 235, No. 2, pp. 46-57.
- Colbert, E. H., *Wandering Lands and Animals*. New York: E. P. Dutton and Co., Inc., 1973, 323 pp.
- Cox, Allan, G. B. Dalrymple, and R. R. Doell, "Reversals of the Earth's Magnetic Field," *Scientific American* (February, 1967), Vol. 216, No. 2, pp. 44-54.
- Dalrymple, G. B., and others, "Origin of the Hawaiian Islands," *American Scientist* (May-June, 1973), Vol. 61, No. 3, pp. 294-308.
- Dewey, J. F., "Plate Tectonics," *Scientific American* (May, 1972), Vol. 226, No. 5, pp. 56-68.
- Dickinson, W. R., "Plate Tectonics in Geologic History," *Science* (October 8, 1971), Vol. 174, No. 4005, pp. 107-113.
- Dietz, R. S., "Geosynclines, Mountains and Continent-Building," *Scientific American* (March, 1972), Vol. 226, No. 3, pp. 30-38.
- Elders, W. A., and others, "Crustal Spreading in Southern California," *Science* (October 6, 1972), Vol. 178, No. 4056, pp. 15-24.
- Hallam, A., "Continental Drift and the Fossil Record," *Scientific American* (November, 1972), Vol. 227, No. 5, pp. 56-66.
- Heirtzler, J. R., "Sea-Floor Spreading," *Scientific American* (December, 1968), Vol. 219, No. 6, pp. 60-70.
- Hurley, P. M., and J. R. Rand, "Pre-drift Continental Nuclei," *Science* (June 13, 1969), Vol. 164, No. 3885, pp. 1229-1242.
- Jacobs, J. A., *Earth's Core and Geomagnetism*. New York: Pergamon Press, Inc., 1963, 201 pp. (paperback).
- James, David E., "The Evolution of the Andes," *Scientific American* (August, 1973), Vol. 229, No. 2, pp. 60-69.
- Kurtén, Björn, "Continental Drift and Evolution," *Scientific American* (March, 1969), Vol. 220, No. 3, pp. 54-64.
- McKenzie, D. P., and J. G. Sclater, "The Evolution of the Indian Ocean," *Scientific American* (May, 1973), Vol. 228, No. 5, pp. 62-72.
- Maxwell, J. C., "Continental Drift and a Dynamic Earth," *American Scientist* (Spring, 1968), Vol. 56, No. 1, pp. 35-51.
- Menard, H. W., "The Deep Ocean Floor,"

- Scientific American* (September, 1969), Vol. 221, No. 3, pp. 126-142.
- Meyerhoff, A. A., and H. A. Meyerhoff, "The New Global Tectonics: Major Inconsistencies," *Bulletin, The American Association of Petroleum Geologists* (February, 1972), Vol. 56, No. 2, pp. 269-336. The other papers in this issue are concerned with the pros and cons of crustal plates and sea-floor spreading.
- Molnar, Peter, and Paul Tapponnier, "The Collision between India and Eurasia," *Scientific American* (April, 1977), Vol. 236, No. 4, pp. 30-41.
- Orowan, Egon, "The Origin of the Oceanic Ridges," *Scientific American* (November, 1969), Vol. 221, No. 5, pp. 102-119.
- Rona, P. A., "Plate Tectonics and Mineral Resources," *Scientific American* (July, 1973), Vol. 229, No. 1, pp. 86-95.
- Takeuchi, Hitoshi, Seiya Uyeda, and Hiroo Hanamori, *Debate about the Earth*, revised edition. San Francisco: Freeman Cooper and Co., 1970, 281 pp. (paperback).
- Taziéff, Haroun, "The Afar Triangle," *Scientific American* (February, 1970), Vol. 222, No. 2, pp. 32-40.
- Valentine, J. W., and E. M. Moores, "Plate Tectonics and the History of Life in the Oceans," *Scientific American* (April, 1974), Vol. 230, No. 4, pp. 80-89.
- Vine, F. J., "Sea-floor Spreading — New Evidence," *Journal of Geological Education* (February, 1969), Vol. 17, No. 1, pp. 6-16.
- Wilson, J. T., "Some Aspects of the Current Revolution in the Earth Sciences," *Journal of Geological Education* (October, 1969), Vol. 17, No. 4, pp. 145-150.
- Wyllie, P. J., *The Dynamic Earth: Textbook in Geosciences*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1971, 416 pp.

الفصل السابع عشر منشأ التراكيب في القشرة الارضية

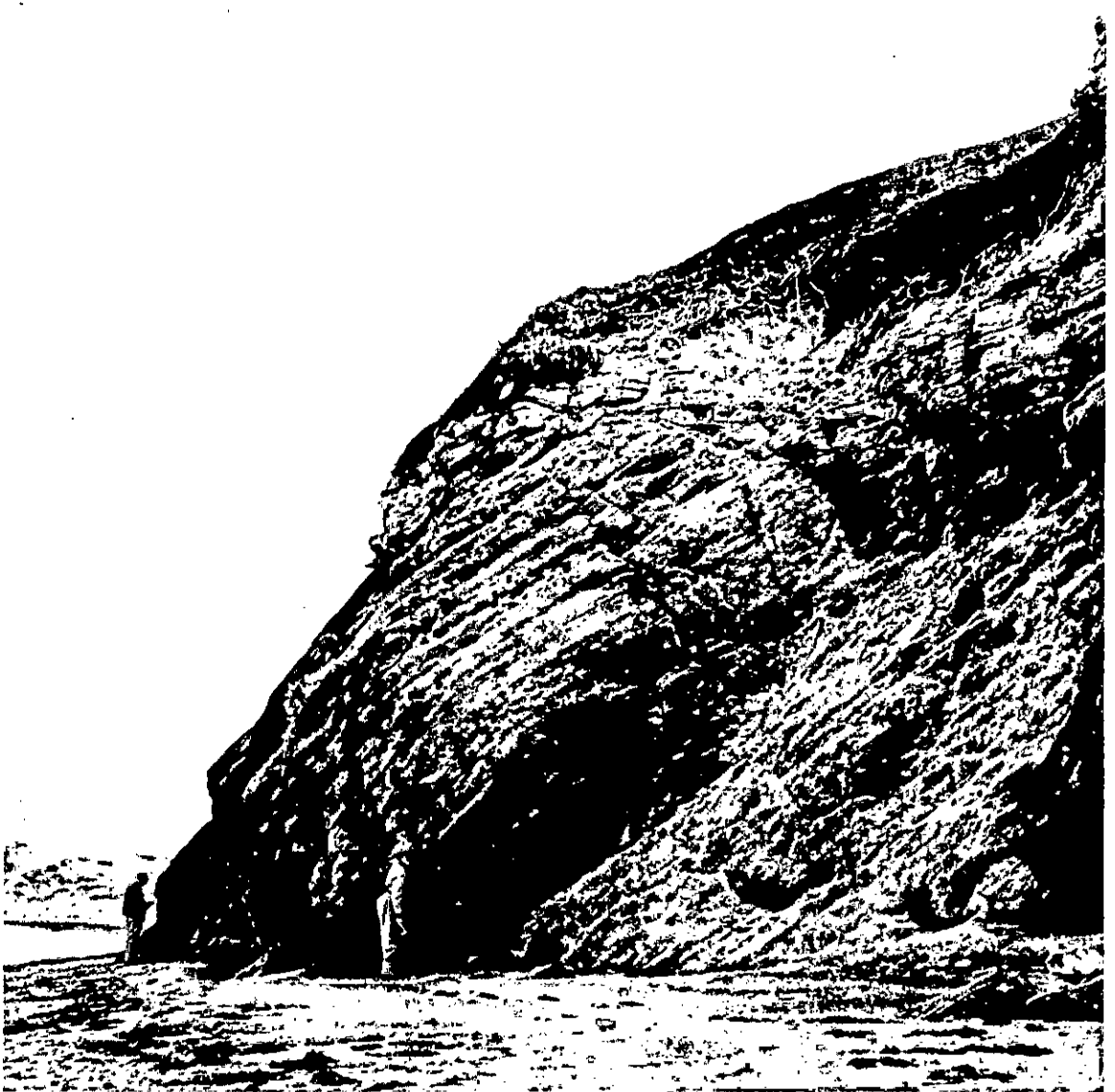
الجيوستركلينات
الجزر القوسية البركانية،
المنحدرات القارية
الماجما
الطاقة
نظريات
تيارات الحمل
توسع قاع المحيط
الانهدام القاري
الازاحة القارية

أسئلة

مراجع اضافية

عدم توافق بين حجر رملي كونجولوميراتي وحجر جيري . حوض
Antigonish-Mabou Basin في Nova Scotia . المساحة الجيولوجية الكندية .

۱۷



لقد بدأت الدراسات الجيولوجية الحديثة قبل مئتي سنة ومنذ ذلك الحين وعملية مسح التراكيب القارية قائمة . وقد درست بعض اجزائها بشكل استطلاعي فقط بينما تمت دراسة اجزاء اخرى بالتفصيل . وعلى الرغم من هذا العمل فان السبب في هذه التراكيب لا يزال غير معروف . ومع ان المحيطات تغطي (٧١ ٪) من الارض الا انه لم يكن هناك شيء معروف عن تركيبها او عن طوبوغرافية قيعانها حتى العشرينات من هذا القرن . ومنذ ذلك الحين استطاع اختصاصيو المحيطات عمل اكتشافات جيولوجية هامة ادت الى التفكير باعادة النظر حول اصول التراكيب في القشرة . وتعتبر بعض هذه الاكتشافات حديثة الى حد انها لم ينته تقييمها بعد .

يجب ان نجد في النظريات التي سنناقشها في هذا الفصل تعليلا للمعالم التي وصفت في الفصول السابقة . ويبين الشكل (١٧-١) بطريقة بيانية بعض المعالم التي لا بد من توضيحها . ومن اجل وضع هذا المقطع استخدمت بيانات من الجيولوجيا السطحية والزلزالية وكذلك المغناطيسية والجاذبية بالاضافة الى كثير من التخمين عن انواع الصخور في العمق .

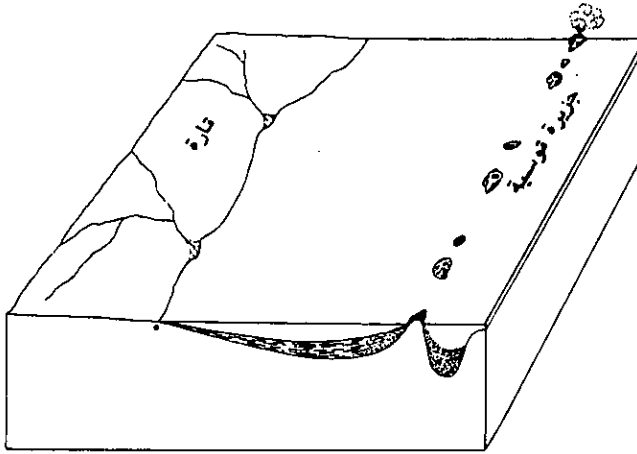
الجيوسنكليينات

Geosynclines

بما ان الجيوسنكليينات تبدو انها تمثل العنصر الهام الرئيسي في التراكيب القارية وربما اكثر تراكيب القشرة الكبيرة وضوحا فلذلك سوف تمثل نقطة انطلاقنا . والجيوسنكليينات كما قلنا سابقا — تتكون بشكل عام بالقرب من الحدود بين القارة والمحيط وتتجمع فيها صخور رسوبية ذات سمك عظيم . ويتركز نشاط بركاني وزلزالي على الجانب المواجه للمحيط ، وتاريخها المتوقع يبدأ بمرحلة الترسيب ثم ينتهي بالطي والتصدع ، اللذين قد يصاحبهما تداخل الباثولايت الجرانيتي . ثم يتبع هذا رفع فتظهر في المكان سلسلة جبلية ، بعدئذ قد يؤدي الحث الى تسوية الجبال وربما ينتج عن ذلك تكوين حزام قاري جديدة .

الجزر القوسية البركانية

بما أن الجزر القوسية البركانية المعاصرة والترنشات المصاحبة لها أكثر مناطق القشرة نشاطا ولانها تحدث بالقرب من الحدود القارية المحيطية فانها قد تنسب الى جيوسنكليينات حديثة ، ويتواجد الجزء البركاني من الجيوسنكلين على الجانب المطل على المحيط مما يثير الاعتقاد بأن تلك الجزر القوسية قدتشكل المصدر للصخور البركانية هناك ، كما أن حث تلك الجزر قد يؤدي الى تراكم صخور رسوبية فتاتية هناك ذات سماكة كبيرة (انظر الشكل (١٧ - ٢)) .



الشكل (١٧ - ٢) : العلاقة المحتملة بين الجيوسنكليينات والجزر القوسية . ونجد ترسبات سمكية وكذلك مواد بركانية مصدرها الجزر القوسية بينما نرى ترسبات قليلة السمك ورسوبيات ادق وكذلك كربونات تتواجد بالقرب من القارة .

ويشكل سبب نشوء السماكات الكبيرة للصخور الرسوبية الفتاتية في الجزء البركاني من الجيوسنكلين مشكلة جيولوجية طويلة الامد . وهي لا يمكن أن تكون قد جاءت من القارة نظرا للاختلاف الكلي في الرسوبيات الواقعة بينهما . وبناء عليه اذا اعتبرنا الجزر القوسية جزءا من الجيوسنكليينات فانه يتبع ذلك أن الجزر البركانية الحالية قد تكون مواقع لجيوسنكليينات حالية . ان دراسة المناطق الواقعة بين الجزر القوسية والقارات لم تكن كافية ولذا فهي لم تقدم الا دليلا بسيطا على ما يثبت تلك العلاقة .

Continental slopes

المالحدرات القارية

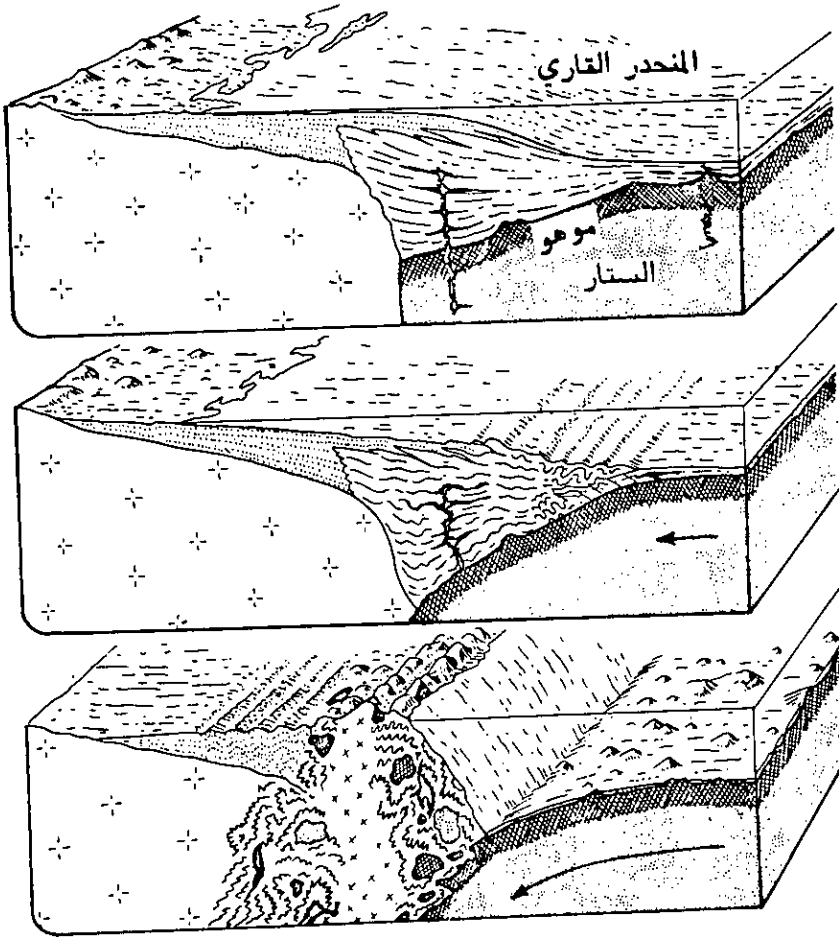
قد يشكل النوع الاخر من الحدود القارية المحيطية ، والذي هو المنحدر القاري جيوسنكلينا ايضا . وفي هذه الحالة يمثل الرف القاري الجزء الاقل نشاطا من الجيوسنكلين بينما يشكل المنحدر القاري الجزء السميك والاكثر نشاطا فيها . ويعتقد بأن بعض المعالم الرسوبية يقود في الجيوسنكلين الى حركة الرسوبيات الى الاسفل على المنحدرات وباستطاعة البراكين البحرية أن تكون مصدرا للصخور البركانية الشائعة الوجود في معظم الجيوسنكلينات (انظر الشكل (١٧ — ٣)) وسوف نزيد في استطلاع هذا النموذج فيما بعد .

الماجما

Magma

وهناك مشكلة اخرى مرتبطة بذلك تكمن خاصة في مصدر الحمم للجزر البركانية القوسية والباثولايت في الجيوسنكلينات . ويبدو أن الماجما تتكون أو على الأقل تتجمع في ستار الارض العلوي . ونطاق السرعة الزلزالية البطيئة في الستار العلوي وكذلك الحرارة والضغط تبعث على الاعتقاد بأن الصخور هناك توجد في حالة قريبة من درجة الانصهار . والزلازل التي تحصل في الستار العلوي عند هاواي تشبه تلك التي تصدر عن حركات الماجما مرافقة للانفجارات البركانية . والموجات السايزمية التي تمر بكاماتشكا عابرة سيبيريا على عمق (٣٠ — ٣٥) ميلا تتباطأ سرعتها مشيرة بذلك لوجود الماجما على هذا العمق . وهكذا نجد ماجما تحت القشرة اسفل الانثنين ، منطقة البازالت المحيطي وتلك التي تتكون من اندزاييت الجزر القوسية ، واذا ما كان تفسر البيانات السايزمية هكذا صحيحا فان منشأ الماجما هو في الستار .

وهكذا فاننا نعتقد بأن الماجما تولد في الستار العلوي أو القشرة السفلية الا اننا لا نعرف عن الظروف السائدة هناك غير القليل ولكن نشساة الهازالت والاندزاييت تتم على الاغلب بأكثر من طريقة . فقد يكون بعضها ناتجا عن انصهار



الشكل (١٧ - ٢) : المنحدر القاري كجيوستكلين . وحسب هذه النظرية تتجهت الرسوبيات فوق المنحدر القاري والرف اللذين يهبطان تدريجيا . ويحدث نشاط بركاني تحت المنحدر . ويحدث تشويه في صخور الجيوستكلين نتيجة الضغط الناتج عن توسع قاع المحيط وكذلك ظهور المزيد من النشاط القاري والتحويلي .

جزئي وقد يكون بعضها الآخر قد افرزته صخور أخرى . وعموما كان يلاحظ عند دراسة الصخور النارية بأن البازلت يوجد في المنطقتين المحيطية والقارية وأنه من الممكن تكوين الاندزيت بالانفراز من البازلت كما أن الدراسات المخبرية على صخور مصدرها غالبا الستار الأرضي توحي بأن انصهارا جزئيا للستار يؤدي الى نشوء البازلت . ويمكن حدوث الانصهار الجزئي ضمن النطاق الضعيف من الستار العلوي الذي ناقشناه سالفا . والطريقة المحتملة في ذلك قد

تكون في تفريغ ضغط على امتداد السطوح الفالقية . ان درجة الانصهار تزداد بارتفاع الضغط كما ان درجة الحرارة في الارض ترتفع كلما زاد العمق . وهذا يجعل الاحتمال قائما بان التفريغ في الضغط كما يمكن ان يحصل على الفوالق قد يتسبب في انصهار محلي ، وهو ما قد يحدث على عمق (٧٥) ميلا تقريبا . ان عملية تكوين الماجما ، التي هي مشكلة معقدة ، تتأثر بالقشرة . ويدل على ذلك توزيع انواع الماجما . ويوجد في المحيطات فقط بازلت ويوجد الاندزاييت في منطقة الحدود المحيطية القارية وعلى القارات بينها يتواجد على القارات بازلت واندزاييت وريولايت .

ان هناك شبهة كبيرة بين التركيب الكيميائي للقارات واندزاييت الجزر القوسية كما ان الباثولايت له تركيب مشابه وهي تميل الى التكون في الجزء النشط بركانيا ضمن الجيوسنكلين . وتشبه مكونات هذه الصخور الى حد ما تلك الخاصة بالديورايت الكوارتزيت حسب الترتيب الموضوع في الشكل (٣ — ٣٨) .

والتشابه في المكونات بين صخور الجزر القوسية وصخور القارات يفتح المجال امام احتمالين ، فلما ان يكون اندزاييت الجزر القوسية هو عبارة عن قارة منصهره او ان يكون بناء القارات قد نشأ من ماجما الجزر القوسية . والتقدير من كمية البراكين الحالية تدل على اننا اذا اخذنا نسبة التراكم الحالي وطبقناها بأثر رجعي على التاريخ الجيولوجي لوجدنا انها تكفي لتصل الى حجم القارات ، ومع ذلك فان الكثير من البراكين الحالية هي بازالتية التكوين . ومثل هذا الانتقال في المواد من الستار الى القشرة لا بد وان يتسبب في تقلص الستار . والقشرة ايضا عليها ان تقلص رغم حصولها على مواد اضافية تبعا لذلك وقد يكون هذا هو السبب في تكوين التراكيب الضاغطة في القشرة (١) .

الطاقة

Energy

تلتزم من اجل توليد الماجما ولعملية التحول وتشويه الصخور كميات كبيرة من الطاقة . وما التسرب الحراري (٢) الا دليلا على وجود مصادر للطاقة

الحرارية يكفي حجمها لحدوث العمليات الجيولوجية . ويزيد اجمالي التسرب الحراري من الارض مئة مرة عن الطاقة البركانية وبذلك يكون كافيا ليتسبب في تلك العمليات الجيولوجية . ويحسب التسرب الحراري بأخذ قياسات درجات الحرارة بحفر الابار على قاع المحيط . وقد تم الحصول على أول القياسات التي يعتمد عليها على القارات في اواسط الثلاثينات من هذا القرن ومن البحر في عام (١٩٥٠) . ويعتبر التحلل بواسطة النشاط الاشعاعي للعناصر مصدرا واضحا للطاقة اللازمة للتسرب الحراري . وما هو معروف من محتوى صخور القشرة في القارات من مواد اشعاعية يعتبر كافيا لتغطية التسرب الحراري القاري . ويساوي معدل التسرب الحراري في المحيطات نفس المعدل المتسرب من القارات تقريبا . ومهما يكن من أمر فان الطبقة البازلتية المحيطية الرقيقة لا تحتوي على العناصر المشعة الكافية لتلليل التسرب الحراري المحيطي . ولذلك لا بد ان يأتي بعض التسرب الحراري في المحيطات من الستار الارضي وهو ما ينطبق فعلا على الظهور الوسط محيطية بشكل خاص ، كما هو الحال عند مرتفعات المحيط الهادي الشرقية حيث التسرب الحراري عال جدا .

وتتوزع العناصر المشعة بشكل متساو في القشرة القارية ، ولا تعتبر المناطق النشطة جيولوجيا كالبراكين والاحزمة الجبلية أكثر نشاطا اشعاعيا من مناطق اخرى فالطاقة الاشعاعية كافية لتسبب في كل العمليات الجيولوجية غير ان التوزيع الاشعاعي يتوود للاعتقاد بأنها ليست المصدر للطاقة ، وانما هناك مصادر اخرى يجب اخذها بالاعتبار .

ويبدو أن الحرارة التي تصل الى السطح تأتي من اعماق الارض وهي لا تستطيع الوصول الى السطح بواسطة التوصيل فقط لانه يعتقد بأن صخور الستار الارضي رديئة التوصيل للحرارة . والطريقة الوحيدة الممكن اجراؤها لتوصيل الحرارة للسطح تعتمد على حدوث التوصيل بواسطة تيارات الحمل (٢) في الستار ، وهي عملية سنشرحها في الفصل القادم . ويعتقد بأن المصدر العميق للحرارة يوجد في النواة الارضية السائلة . ويمكن أن تنطلق الحرارة نتيجة تبلور النواة ويعتقد بأن النواة الداخلية تتبلور بسرعة بطيئة . وثمة سبب اخر يبين لماذا يعتقد بأن النواة الارضية هي المسؤولة عن العمليات الجيولوجية

وتمثل في أنه ليس للقمر والمريخ والزهرة نواة سائلة على ما يبدو وليس هناك أحزمة جبال ملتوية أيضا . وهذه المعلومات عن الكواكب الأخرى جاءت من التجارب الحديثة في الكون وسنناقش تفصيليا في الفصل العشرين . كما أنه من المحتمل أن تصدر الحرارة الداخلية عن الستار الأرضي نتيجة للتبلور فيه إلا أننا لا نعرف إلا القليل عن تكوينه أو الظروف الفيزيائية هناك . ويحدونا الأمل بأن الدراسات المستقبلية سوف تمكننا من اكتشاف مصدر الطاقة اللازمة للعمليات الجيولوجية .

نظريات

Hypotheses

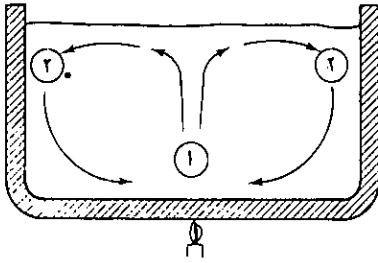
سوف نأخذ بالاعتبار في هذا الفصل النماذج النظرية والنظم الخاصة بنشوء التراكيب في القشرة . وسوف نغطي الاقتراحات الأكثر أهمية فقط ولا بد أن يكون جليا احتمال حدوث الكثير من التعديلات على التفاصيل في كل من هذه النظريات . إلا أنه في الوقت الحاضر ما من هذه النظريات ما يعتبر مقنعا تماما . فكل منها إما أن تحمل في طياتها بعض المعالم المتناقضة أو أنها تعجز عن تفسير جميع الظواهر . أنه ليس من الممكن تجربة هذه النظريات مباشرة لأن الزمن الذي تمر فيه هذه العمليات يعتبر طويلا جدا ولأنه لا يعرف إلا القليل أيضا عن الستار الأرضي والجزء السفلي من القشرة ولا يمكن مراقبة أي منها مباشرة .

إن الصخور الملتوية والشائع وجودها على القارات تدل على حدوث تقلص . وأحدى النظريات الأولى التي قدمت تقول بأن ذلك يعود إلى انكماش في القشرة الأرضية نتيجة برودتها . وقد هجرت نظرية الانكماش هذه لعدم مقدرتها على تفسير توزيع الصخور المشوهة زمنيا ومكانيا كما أن مقدار البرودة المتوقع يبدو أصغر بكثير من أن يعطل التراكيب في القشرة . وكما رأينا سابقا فإن الالتواء لا يعني بالضرورة تقلص القشرة لأن الانزلاقات بفعل الجاذبية لا تعني تقلصا في القشرة . وأحدى المشاكل تكمن في اتخاذ قرار إلى أي حد تشارك القشرة في التقلص وإلى أي عمق . والشيء الأكثر أهمية في تطوير نظرية ما عن تراكيب القشرة هو معرفة أن للصخور المشوهة تمركزا مزدوجا زمنيا ومكانيا .

تيارات الحمل

Convection currents

اعتمدت بعض النظريات التي سيأتي شرحها على تيارات الحمل كآساس في نظامها . وتنشأ خلايا هذه التيارات عندما يسخن سائل ما عند القاع . وحالما يتمدد السائل الساخن يصبح أقل كثافة ويأخذ في الصعود فيتحرك عندئذ السائل البارد عند القمة الى اسفل اخذا مكان السائل الساخن الصاعد كما هو مبين في الشكل (١٧ - ٤) ومن خلال هذه العملية تنتقل الحرارة الى اعلى بواسطة السائل الساخن .



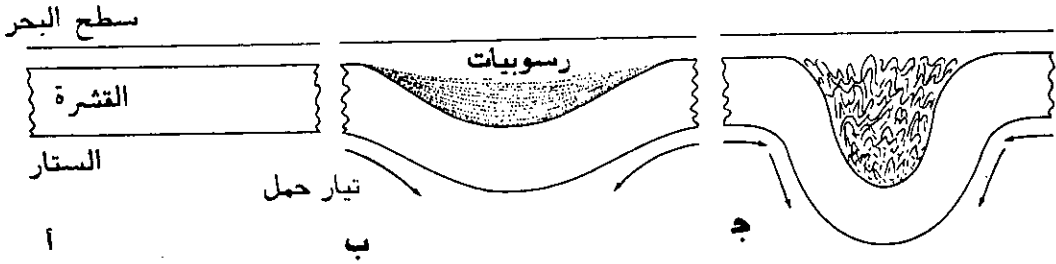
الشكل (١٧ - ٤) : خليتا حمل تكونتا بسبب الحرارة في القاع . ان السائل الساخن يرتفع عند رقم (١) فيهب مكانه سائل بارد من رقم (٢) ليحل محله .

وبالرغم من وجود اختلاف في وجهات النظر حول درجة اللزوجة (٤) الخاصة بالستار الارضي فان الكثير من الباحثين توصلوا نظريا الى وجود تيارات الحمل ، وقد اكدوا امكانية وجودها في الستار حتى ولو بدا ان درجة اللزوجة فيه تجعله يسلك مسلك المواد الصلبة عند نقله للامواج الزلزالية . وقد يكون تجاوب مادة ما مرنا عند وقوعها تحت تأثير اجهاد (٥) مفاجيء ولكنها قد تتشوه برفق اذا كان الاجهاد الواقع عليها ممتدا عبر حقبة زمنية طويلة . وقد تحصل الحالة الثانية تلك في الستار الارضي وخاصة بالنظر لدرجات الحرارة والضغط الموجودة هناك . وهكذا فان مادة صلبة قد تسيل في درجات حرارة اقل من نقطة انصهارها . والمثل المحتمل على ذلك نجده في حركة جليد الجليدية (٦) البطيئة

تحت تأثير الجاذبية وسلوكها المختلف تماما اذا ما تعرضت الى اجهاد مفاجيء . ويعتقد بأن تيارات الحمل تتحرك بمقدار واحد الى بضعة سنتيمترات سنويا وتستطيع تيارات الحمل في الستار تشويه صخور القشرة الواقعة فوقها . وانه من غير المتوقع أن تستمر العملية طوال الوقت وانما بمقدورها أن تتحرك احيانا عندما ترتفع درجة الحرارة الى حد كاف وهكذا يكون بمقدورها أن تعلق المركز المزدوج زمانا ومكانا في الصخور المشوهة . وسنقوم بشرح هذا التوزيع في الفصول القادمة والجزء الرابع . وقد تكون النواة السائلة هي المصدر الحراري للتيارات اذا ما كانت موجودة هذه فعلا في الستار . وسوف يرد في الفصل العشرين وصف لتطور النواة الذي يشكل جزءا من التطور القديم للارض . وتشير التحليلات النظرية الى تصاعد في عدد خلايا التيارات كلما كان قطر النواة يزداد نموا . ويتم الزيادة في عدد خلايا التيارات التحويلية بشكل قفزات من خلية الى اثنتين ومن اثنتين الى ثلاث ، وهكذا ويفترض بأن التشويه يصبح اشد وفي أماكن جديدة تبعا لكل قفزة . وقبل أن تعمم مثل هذه التحليلات النظرية على واقع القشرة المشوهة فانه لا بد من الحصول على معلومات اكبر بكثير .

ان ايسر نموذج على تيارات الحمل لتكوين جيوسنكلين أو اخدود (٧) بحري عميق يتمثل في تقابل شيارين متجهين الى اسفل . وفي حالة تواجد اخدود عميق امام جزيرة قوسية فان مثل هذا الانحناء الى اسفل يفسر هنا وجود الجاذبية السالبة (٨) حيث تحل مواد القشرة الخفيفة مكان صخور الستار الانقل . وتجدر الإشارة هنا بأن مثل هذا الترتيب قد يعطى تعليلا ايضا للالتواءات المضغوطة المتجمعة في المنخفضات . وقد تستكمل هذه العملية في مرحلة متأخرة اذا ما اندفعت جوانب المنخفض باتجاه بعضها بعضا بفعل الاجزاء الامقيسة من خلايا تيارات الحمل (انظر الشكل (١٧ - ٥) . وعلى أية حال فانه لا بد من تطوير الفكرة المبسطة عن التيارات التحويلية (تيارات الحمل) لان مراكز الزلازل الارضية تشير الى وجود سطح فالقي يمر في احدى هذه الخلايا قاطعا اياها .

كذلك يمكن تفسير كثير من معالم الظهور الوسط محيطية بواسطة تيارات



الشكل (١٧ - ٥) : نشوء الجيوسنكلين نتيجة وجود التيارات التحولية .
(١) في حالة البداية .

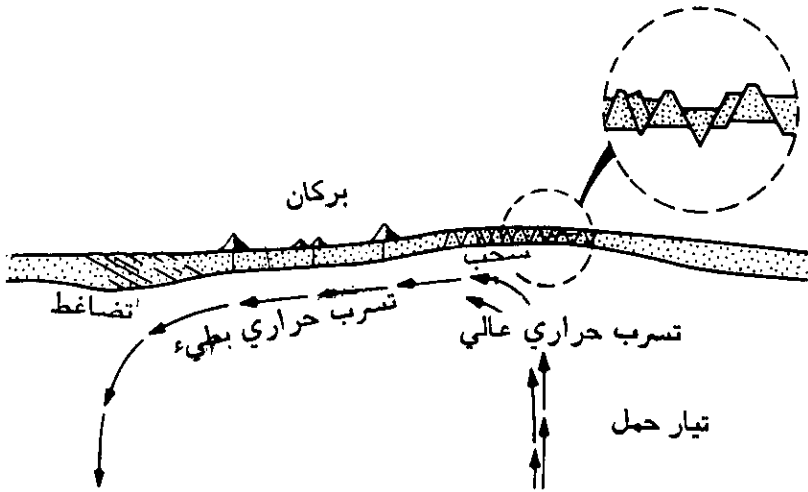
(ب) - انحناء الى اسفل ناتج عن هبوط تيارات الحمل .
(ج) وبعد مدة ، حيث يكون الجيوسنكلين قد امتلأ بالرسوبيات ، تضغط العناصر الانقيصة من التيار على الجيوسنكلين . ومما يساعد في هذه العملية حدوث تقلص في سماكة القشرة أثناء عملية الهبوط . أما الجزء العميق من الجيوسنكلين فقد يصبح مكانا لحدوث الحمل وذلك للزيادة في الضغط والحرارة .

الحمل . ويدل التسرب الحراري العالي على وجود تيارات حمل صاعدة في الستار . وقد تتسبب التيارات في رفع القشرة وما يتبع ذلك من تقلص في سماكتها كما انها قد تكون هي سبب التصدع وتكوين مراكز زلزالية . وأما تيارات الحمل الهابطة فانها تؤدي الى حدوث الترنشات البحرية (٩) وهي التي تتسبب في تدني التسرب الحراري هناك (انظر الجدول ١٧ - ١) . ويمكن ان تتكون جزر قوسية فوق تيارات الحمل الهابطة لان حركة التيارات تؤدي الى انخفاض في الضغط بحيث ينجم عن ذلك انصهار موضعي . (انظر الشكل (١٧ - ٦)) . أما الحركة الافقية على امتداد فائق سان اندرياس فهي تشكل زاوية قائمة تقريبا بالنسبة لحركة تيارات الحمل التي ذكرناها آنفا . وأما أن لا يكون هناك تسرب حراري عال في بعض الاجزاء من ظهر وسط المحيط فان تفسير ذلك هو أن اجزاء مختلفة من الظهر كانت قد تكونت في اوقات مختلفة ايضا . ويبدو أن ذلك معقول في مثل هذه المعالم بهذا الحجم وقد تشير الفوارق الطبوغرافية الى فوارق في العمر .

ويمكن اعداد خرائط تيارات الحمل الحديثة عندما نأخذ بالاعتبار انها تصعد الى أعلى تحت الظهور وسط المحيطية ثم تجري مبتعدة عن الظهر

الجدول (١٧ — ١) : ملخص لقياسات التسرب الحراري والوحدات هي
مايكرو كالوري / سم^٢ / ثانية (١٠^{-٦} كالوري / سم^٢ / ثانية)

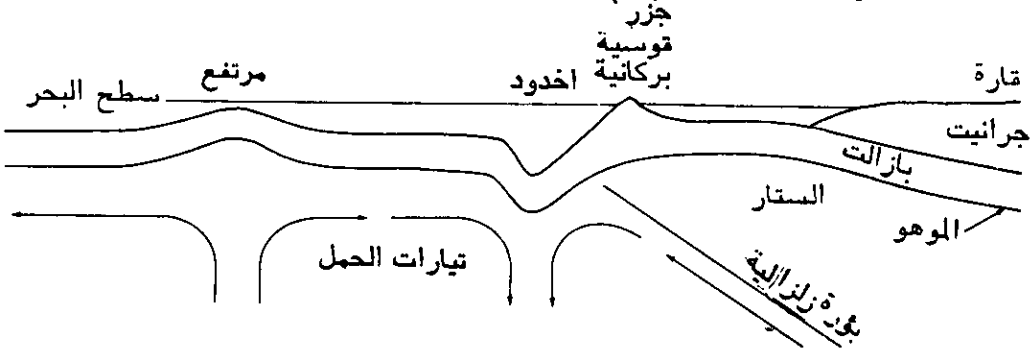
	المعدل ١٥ ± ١٥ ر (نفس المعدل على القارات والمحيطات)
١٥٤ ± ٠.٣٨ ٩٢ ± ٠.١٧ ٢٣ ± ١٤٠ ٩٢ ± ١٤٩	القارات مناطق غير مشوهة مثل المناطق المنخفضة الداخلية مناطق الصخور المتحولة والتي شوهت قبل حوالي ٦٠٠ مليون سنة مناطق شوهت بين ٦٠٠ — ٢٢٥ مليون سنة مضت مناطق شوهت احدث من ٢٢٥ مليون سنة
٩٩ ± ٠.٦١ ٢٨ ± ٠.٥٣ ٨٢ ± ١.٥٦	المحيطات أخاديد Trenches أرض المحيط Floors ظهور Ridges



الشكل (١٧ - ٦) : نموذج يبين كيفية عمل نظرية تيارات الحمل لتعمل هبوط الكثير من المعالم المصاحبة لمرتفعات المحيط الهادي الشرقية .

باتجاه معامد . وتهبط تلك التيارات تحت الترنشات المحيطية او تحت القارات او تحت السلاسل الجبلية الحديثة . وليس هناك من معلومات كافية حتى الان تسمح بوصف نظام موحد للتيارات التحولية .

وقد تشكل التيارات التحولية وسيلة لحل بعض المشاكل . ومثل هذه النظرية تفرض وجود تيارات تصاعدية تحت ظهر وسط المحيط وعلى امتداد السطح الفالقي المحدد بالمراكز الزلزالية ، وتيارات هابطة (تنازلية) تحت الترنشات العميقة . وليس هناك من سبب طبعاً يلزم بضرورة تواجد الخليتين في وقت واحد (انظر الشكل (١٧ - ٧) .

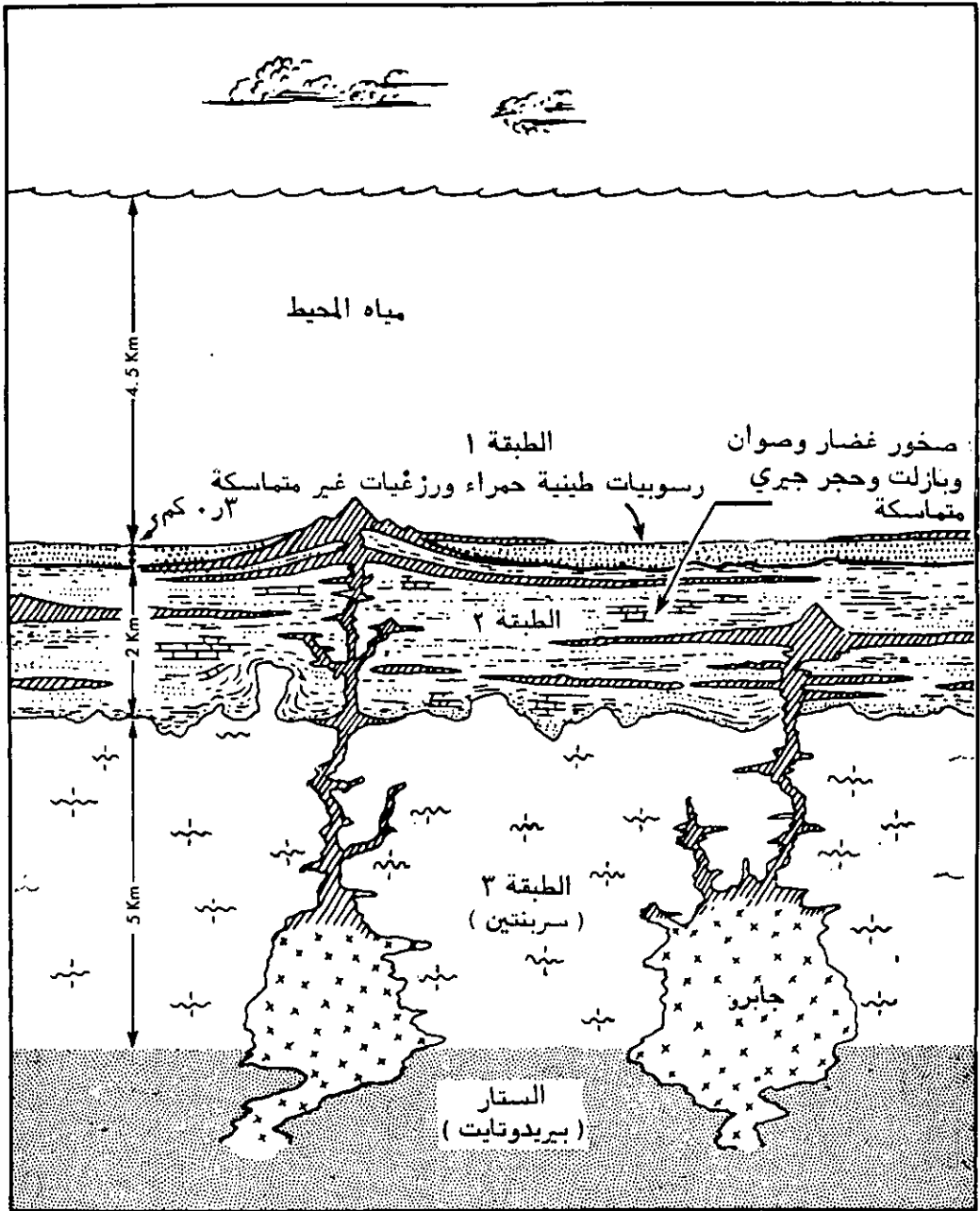


الشكل (١٧ - ٧) : نظرية تيارات الحمل غير المشاهدة قد تعمل الكثير من الظواهر . وقد تكون تيارات الحمل الصاعدة عند مركز الزلازل مكاناً لصعود الماجما فتكون جزر بركانية .

توسع قاع المحيط

تعتبر فكرة التوسع في قاع البحر مظهرا من مظاهر نظرية تيارات الحمل . ويمكنها أن تملل وجود الجيوسنكلينات وحدوث الازاحة القارية . وفي هذه النظرية يحدث شيان ، يتسع قاع المحيط ثم يتحرك وذلك بواسطة تيارات الحمل . فتأتي التيارات بمواد من الستار الى قرب السطح عند ظهر وسط المحيط ، ولما كان الستار يتكون حسب اعتقادنا من البرودتايت فان هذا يتفاعل مع مياه المحيط مكونا السرينتين . وتمثل الموهو الحدود بين البرودتايت والستار وينطوي وجود السرينتين في القشرة ومكانه على العلاقة مع درجة الحرارة والضغط اللذين عندهما يتفاعل الاوليفين مع الماء مكونا السرينتين (انظر الشكل (١٧ - ٨)) . ولذا تبقى الموهو على عمق ثابت تحت المحيطات وأعمق بكثير تحت القارات حيث الحرارة والضغط عاليان جدا على تكوين السرينتين . وكذلك يمكن اشتقاق البازالت الموجود في المحيطات من الستار . وتأتي به البراكين البحرية التي تسبب ايضا الجبال البحرية والجزر البازلتية . والتيارات التحولية التي تبدأ مسارها عند ظهر وسط المحيط تتجه منه الى الخارج تحمل معها اثناء ذلك سطح المحيط . واذا كانت نسبة حركة تيارات الحمل مختلفة من مكان الى اخر فان ما ينتج عن فارق في الحركة قد تؤدي الى الازاحة الواضحة في ذلك الظهر عند الفوالق وكذلك يؤدي الى تكوين مناطق الكسور في المحيط الهادي . وبما كان تيارات الحمل اما الاستمرار تحت القارات او أن تهبط في العمق عند الحدود القارية المحيطية . وفي حالة استمرارها تحت القارات فانها قد تتسبب في ازاحة قارية (١٠) ، وهو موضوع الفصل التالي . وفي مثل الحالة يمثل الظهر النسحب التي تظهر المكان الذي كانت عنده القارات متصلة ببعضها . واما اذا هبطت الى العمق عند حدود القارة فانه قد يكون لذلك علاقة بنشوء جيوسنكلينات عند تلك الارحاء .

وتستطيع ظاهرة توسع قاع البحر أن تفسر نشوء الجيوسنكلينات عند



الشكل (١٧ - ٨) : التركيب المتوقع للطبقات تحت المحيط . اما موقع الموهو (بين الستار والطبقة الثالثة) فقد حدد بناء على العمق الذي يؤدي فيه ارتفاع الحرارة والضغط الى تحول البيروكسينات الى سرينتين .

الحدود القارية المحيطية . وحسب هذه النظرية يعتبر أن المنحدر القاري والرف هما الجيوسنكلين . فقد يصبح الرف القاري ذلك الجزء من الجيوسنكلين

القريب من القارة والذي يستوعب تراكمت سميكة من الصخور الرسوبية ذات تصنيف جيد ومعقول . وأما المنحدر القاري فيشكل منطقة تراكمت ، موادها رديئة التصنيف ترسبت بواسطة الانزلاقات البحرية والتيارات البحرية ذات الكثافة العالية . ويحمل سطح المحيط الاخذ في الاتساع الترسبات الموجودة على سطحه الى أسفل المنحدر القاري . ومن المحتمل أن تتسبب تيارات الحمل الهابطة في نشوء منخفضات عند قدم المنحدر القاري . وبالإمكان بواسطة هذه العمليات تجميع تراكمت ضخمة من الرسوبيات عند المنحدر القاري . وكل الذي يلزم لجعل هذه المنطقة مشابهة للجانب المحيطي النشط في أي جيوسنكلين هو نشاط بركاني (انظر الشكل (١٧ - ٣)) . وهذا يمكن الحصول عليه بواسطة تيارات الحل الهابطة . ويشبه هذا النموذج الجزر القوسية الى

حد كبير . ويمكن الاختلاف فقط في كون البراكين هنا تحت سطح البحر ولا تكون جزرا ترتفع في الهواء . وينشأ حسب هذه النظرية عند اقدام الكثير من المنحدرات القارية منخفضات وما قد يكون جدران فالقية . (انظر الشكل (١٦ - ١٥)) . وقد يمثل الرف القاري والمنحدر جيوسنكلينا حتى بدون توسع في قساع المحيط . وفي هذه الحالة ينتج انخفاض في المنطقة تسببه تيارات الحمل ، فينفتح بذلك المجال لتراكم الرسوبيات على الرف والمنحدر .

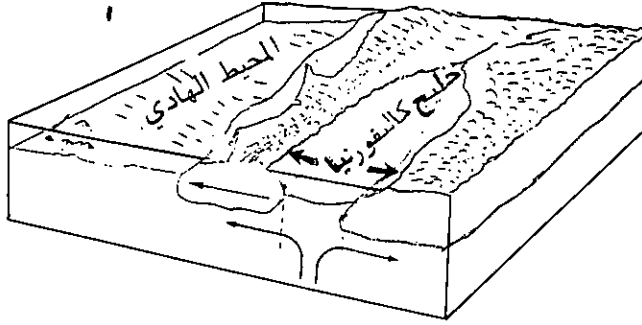
تعتبر نظرية توسع سطح البحر جذابة حيث انها تستطيع ان تعطي حولا للكثير من المعالم المحيرة في المحيط . والنقاط الرئيسية التي ذكرت آنفا تستطيع تفسير ظاهرة التصدع في قاع المحيط وكذلك وجود الجيوسنكلينات على الحدود القارية المحيطية . ومثل هذا المنشأ للجيوسنكلينات يقلل الى ادنى حد الفوارق بين الجزر القوسية والمنحدرات القارية وهي نوعان من الحدود القارية المحيطية كما انها تقدم تفسيراً أيضاً لثناقص سمك الرسوبيات على قاع المحيط والحدثة في عمرها ، والتناسق في سماكة القشرة المحيطية الذي يصعب جداً تعليله اذا كانت القشرة المحيطية بازلتا تكون نتيجة نشاط بركاني ، وكذلك هي تفسر وجود ظهور وسط المحيطات وحدثة عمرها ، وحدثة العهد فيها يخص الجبال البحرية مستوية السطح (ليس فيها ما هو اقدم من العصر الطباشيري) وكذلك عدد الجبال البحرية القليل نسبياً كما انها تملل الحدثة في عمر

الرفوف (١١) القارية (اذ ليس فيها ما هو اقدم من العصر الطباشيري) وسنقدم في الفصل القادم اثباتا بواسطة المغناطيسية على حدوث التوسع في البحر . ويوجد بالرغم من كل هذا اعتراضات عليها فيجب أن تمثل الظهور الوسيط محيطية احدث المعالم في المحيط غير انه أمكن الكشف عن رسوبيات من العصر الطباشيري في الودية الفوالق على قمة تلك الظهور . ومن المفروض كذلك أن تصبح الصخور تدريجيا اقدم كلما ابتعدنا عن الظهر . وبالرغم من أن التأثير بالنشاط الاشعاعي لصخور بعض الجزر يحمل في طياته مثل هذا المعنى فقد عثر على بعض الاستثناءات . ويفترض ايضا في رسوبيات قاع المحيط أن تزداد سماكة كلما ابتعدنا عن ظهر وسط المحيط لانه لا بد وأن تتجمع رسوبيات أكثر على هذه المناطق الاقدم ، الا أن ذلك لم يمكن ملاحظته حتى الان . ولذا لا يمكن تقييم هذه النظرية الا عندما يتم الحصول على بيانات أكثر عن مواد سطوح المحيط .

Continental rifting

الخسف القاري

يحتمل أن يعود الخسف القاري في سببه الى التيارات التحولية وقد ينتج عنه جيوسنكليات أو ازاحة قارية . وفي النظريات السابقة كانت تيارات الحمل الصاعدة تحت قاع المحيط تتسبب في بروز ظهور وسط المحيطات وما يصاحبها من معالم تهددية . وأما اذا صعدت التيارات تحت القارات بدلا من المحيطات فان التمدد الناتج عن ذلك قد يشطر القارة ويجعل الاجزاء تنزاح عن بعضها بعضا وما الاطار العام للمحيط الاطلسي وفي منتصفه ظهر وسط المحيط الاطلنطي الذي يقسمه تناظريا الى قسمين الا دليلا على مثل هذه العملية وفي النظرية المطروحة للدراسة حاليا هناك كثير من المعالم الصغيرة التي قد تكون مرت في عملية مشابهة . وقد يكون خليج كاليفورنيا والبحر الاحمر امثلة على ذلك . ان هذه المحيطات الضيقة قد تكون نشأت بانسطار القارات وازاحتها عن بعضها . وترتبط هاتان المنطقتان مع ظهر وسط المحيط وحفرة الانهدام (١٢) الخاصة به . ففي حالة خليج كاليفورنيا قد تكون حركة فالق السان اندرياس



الشكل (١٧ - ٩) : احتمال نشوء خليج كاليفورنيا بواسطة الزلاحة والانفصال عن القارة . فقد يكون السبب في هذا وجود تيارات حمل في السنار .

الجانبية هي التي ادت الى انفتاح الخسف . (انظر الشكل (١٧ - ٩)) . وقد تتع الحركة في ارجاء اخرى على زاوية عمودية بالنسبة للظهر . عندئذ يصبح المحيط الضيق مشابها الى حد ما لحفرة الانهدام الواقعة على الظهر العادي . وتتراكم الرسوبيات في البحار الضيقة المتكونة بمثل هذه الطريقة كما ان النشاط البركاني كما هو موجود في اماكن اخرى على ظهور وسط المحيطات تجعلها مشابهة للجبوسنكلينات . اما كيف تبدأ مرحلة تكوين الجبال ضمن الجبوسنكلين فتبقى مشكلة قائمة .»

Continental drift

الازاحة القارية

الازاحة القارية تمثل عملية تركيبية اخرى محتملة الوقوع . وسوف نأتي في الفصل القادم على اثباتات تؤيد النظرية واخرى تعارضها ويعتقد بان التيارات التحولية ، الداخلية منها ، اي ضمن السنار ، او التي تحتوي قاع المحيط تشكل العامل الرئيسي في الازاحة القارية كما سبق وذكرنا في الفصلين السابقين . وبإمكان تيارات الحمل أن تحرك القارات حتى تصبح في حالة من التوازن مع الخلايا التيارية الناشئة عندها تهبط التيارات التحولية اما تحت القارة أو على الحدود معها . وتبقى القارات في هذا الوضع حتى تنشأ خلايا تيارات جديدة ويفترض ان ذلك يعود لتغيرات في النواة . وتتسبب خلايا تيارات الحمل

الهابطة تحت القارات في ظهور التراكيب المضغوطة (١٣) كتنقيص للمعالم التمددية في المحيطات . وتبقى بشكل عام مشكلة قائمة وهي توقع تكوين الاخاديد المحيطية (١٤) بواسطة التيارات الهابطة بينما لا تحدث معالم مشابهة على القارات عند الاماكن التي يعتقد بأن التيارات تهبط تحتها . على أية حال فانه باستطاعة التيارات التحولية أن تحمل طبقة الرسوبيات المحيطية الى تحت القارة . وقد يعاد تشكيل هذه المواد مكونة كتلا داخلية (١٥) فتضاف بذلك الى القارات . وقد يكون هذا ما يمنع الحث من تقليص القارات الى مستوى القاعدة (١٦) . وبطريقة مشابهة تستطيع التيارات التحولية الهابطة أن تتسبب في اختلاط المواد الرسوبية مع البازالت عند اخاديد لينتج عن ذلك البراكين الانديزائية في الجزر القوسية التي عادة ما تظهر مصاحبة لتلك الترنشلت .

أما نسبة سرعة الازاحة القارية (تيارات الحمل) فتقدر بحوالسي (٢-١) سم في السنة . وهذه تقريبا هي نفس نسبة الزحف على امتداد بعض الفوالق . (انظر الفصل الثالث عشر) . وقد يصبح ممكنا في المستقبل القريب تياس الحركة النسبية لقارتين باستخدام الاتمار الاصطناعية ، فيكون القمر الاصطناعي مرصودا من القارتين بنفس الوقت بحيث يمكن ايجاد المسافة الواقعة بين المحطتين بطرق المثلثات ثم يعاد اخذ القياس ثانية في وقت مناسب فيما بعد .

لقد اعتقد بعض المؤيدين الاوائل بأنه بعد ما ازيحت القارات حصل تشوه في اطرافها المتقدمة مما ينتج عنه تكوين سلاسل جبلية مصدعة وملتوية على أطراف بعض القارات . وبما أن الجبال تكونت جميعها خلال الزمن الجيولوجي فلا بد أن تكون الازاحة قد حصلت تكرارا في اتجاهات مختلفة بنماذج لا تتفق مطلقا مع الادلة التي سبق وذكرت عن الازاحة في الفصل الثامن عشر .

يوازي ظهر وسط المحيط الاطلسي خطوط السواحل لافريقيا وامريكا الجنوبية . وقد يكون هذا الظاهر قد نشأ نتيجة لوجود تيارات تحولية واذا كانت هذه التيارات هي التي تسببت في الانشطار والازاحة الجانبية لهاتين القارتين فإن الظاهر حينئذ قد يدل على المكان الذي كانتا ملتحمتين عنده (انظر الشكل



الشكل (١٧ - ١٠) : ظهر وسط المحيط يمتد موازيا للسواحل الأمريكية والجنوب
أمريكية . ويبين المكان الذي كانت هاتان القارتان فيه يوما متصلتين . لاحظ توسع قاع المحيط
حسب هذه النظرية وتقدير الأعمار النسبية لبعض أجزاء من قاع المحيط .

(١٧ - ١٠) .

وتتطلب بعض النماذج الموضوعة للأزاحة القارية أرضا ممتدة ، فتسهل
بذلك إمكانية التحام القارات الحالية لو أردنا جمعها في قارة واحدة .
وتناسب البيانات المغناطيسية أكثر في إعادة البناء وعمل نموذج كهذا . وقد
نتج عن التمدد حسب هذه النظرية انشطار في القارة ، إلا أنه لا يمكن أن يقال إلا
القليل عن مثل هذه التصورات ناهيك عن أنه من الصعب إيجاد سبب لذلك
التمدد أو تجريته .

أسئلة

- ١٧ — ١ : صف أوجه الشبه بين الجزر القوسية والجيوسنكلينات .
- ١٨ — ٢ : ماهي أوجه الشبه والاختلافات بين الجيوسنكلينات والمنحدرات القارية ؟
- ١٧ — ٣ : أين تنشأ الماجما ؟ وما هو البرهان على ذلك ؟
- ١٧ — ٤ : من أين تأتي الطاقة التي تسبب تشويه الصخور ؟
- ١٧ — ٥ : ماهي تيارات الحمل ؟ وما هو الدليل على وجودها في الستار ؟
- ١٧ — ٦ : كيف يمكن أن تتكون الجيوسنكلينات بواسطة التمدد (التوتر) ؟ وما هو نوع القوى التي تسبب التشويه في الجيوسنكلين ؟
- ١٧ — ٧ : كيف تعمل نظرية توسع قاع البحر (sea floor spreading) ؟
- ١٧ — ٨ : ما هو الدليل على توسع قاع البحر (sea floor spreading) ؟
- ١٧ — ٩ : هل هناك من دليل على حدوث انشطار في القارات ؟

مراجع اضافية

Planets

Ebbighausen, E. G., *Astronomy*, 3rd ed. Columbus, Ohio: Charles E. Merrill Publishing Co., Inc., 1976, 154 pp. (paperback).

Head, J. W., and others, "Geologic Evolution of the Terrestrial Planets," *American Scientist* (January-February, 1977), Vol. 65, No. 1, pp. 21-29.

King, E. A., *Space Geology: An Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1976, 400 pp.

Lewis, J. S., "The Chemistry of the Solar System," *Scientific American* (March, 1974), Vol. 230, No. 3, pp. 51-65.

Sagan, Carl, "The Solar System," *Scientific American* (September, 1975), Vol. 233, No. 3, pp. 22-31. This entire issue is on the solar system.

Mars

Carr, M. H., "The Volcanoes of Mars," *Scientific American* (January, 1976), Vol. 234, No. 1, pp. 32-43.

Hammond, A. L., "The New Mars: Volcanism, Water, and a Debate over its History," *Science* (February 2, 1973), Vol. 179, No. 4072, pp. 463-465.

Murray, B. C., "Mars from *Mariner 9*," *Scientific American* (January, 1973), Vol. 228, No. 1, pp. 48-69.

Venus

James, J. N., "The Voyage of *Mariner II*," *Scientific American* (July, 1963), Vol. 209, No. 1, pp. 70-84.

Moon

Baldwin, R. B., *A Fundamental Survey of the Moon*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1965, 149 pp. (paperback).

Dyal, Palmer, and C. W. Parkin, "The Magnetism of the Moon," *Scientific American* (August, 1971), Vol. 225, No. 2, pp. 63-73.

Goldreich, Peter, "Tides and the Earth-Moon System," *Scientific American* (April, 1972), Vol. 226, No. 4, pp. 43-52.

Hammond, A. L., "Lunar Science: Analyzing the Apollo Legacy," *Science* (March 30, 1973), Vol. 179, No. 4080, pp. 1313-1315.

Hartmann, W. K., "Cratering in the Solar System," *Scientific American* (January, 1977), Vol. 236, No. 1, pp. 84-99.

Hess, Wilmut, and others, "The Exploration of the Moon," *Scientific American* (October, 1969), Vol. 221, No. 4, pp. 54-72.

Mason, Brian, "The Lunar Rocks," *Sci-*

- entific American* (October, 1971). Vol. 225, No. 4, pp. 48-58.
- Runcorn, S. K., "Corals as Paleontological Clocks," *Scientific American* (October, 1966), Vol. 215, No. 4, pp. 26-33.
- Schmitt, H. H., "Apollo 17 Report on the Valley of Taurus-Littrow," *Science* (November 16, 1973), Vol. 182, No. 4113, pp. 681-690. A report on the geology of the moon, written by a geologist who was there.
- Science*, Apollo 11 issue (January 30, 1970), Vol. 167, No. 3918.
- Wood, J. A., "The Lunar Soil," *Scientific American* (August, 1970), Vol. 223, No. 2, pp. 14-23.

Meteorites

- Dietz, R. S., "Astroblemes," *Scientific American* (August, 1961), Vol. 205, No. 2, pp. 50-58. Reprint 801; W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Heide, Fritz, *Meteorites*. Chicago: Phoenix Science Series, The University of Chicago Press, 1963, 144 pp. (paperback).
- Lawless, J. G., and others, "Organic Matter in Meteorites," *Scientific American* (June, 1972), Vol. 226, No. 6, pp. 38-46.

- Mason, Brian, *Meteorites*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1962, 274 pp.
- Urey, H. C., "Meteorites and the Moon," *Science* (March 12, 1965), Vol. 147, No. 3663, pp. 1262-1265.

Comets

- Whipple, F. L., "The Nature of Comets," *Scientific American* (February, 1974), Vol. 230, No. 2, pp. 49-57.

Tektites

- Barnes, V. E., "Tektites," *Scientific American* (November, 1961), Vol. 205, No. 5, pp. 58-64. Reprint 802, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Faul, Henry, "Tektites Are Terrestrial," *Science* (June 3, 1966), Vol. 152, No. 3727, pp. 1341-1345.
- Glass, B. P., and B. C. Heezen, "Tektites and Geomagnetic Reversals," *Scientific American* (July, 1967), Vol. 217, No. 1, pp. 32-38.
- King, E. A., "The Origin of Tektites: A Brief Review," *American Scientist* (March-April, 1977), Vol. 65, No. 2, pp. 212-218.

الفصل الثامن عشر الازاحة القارية

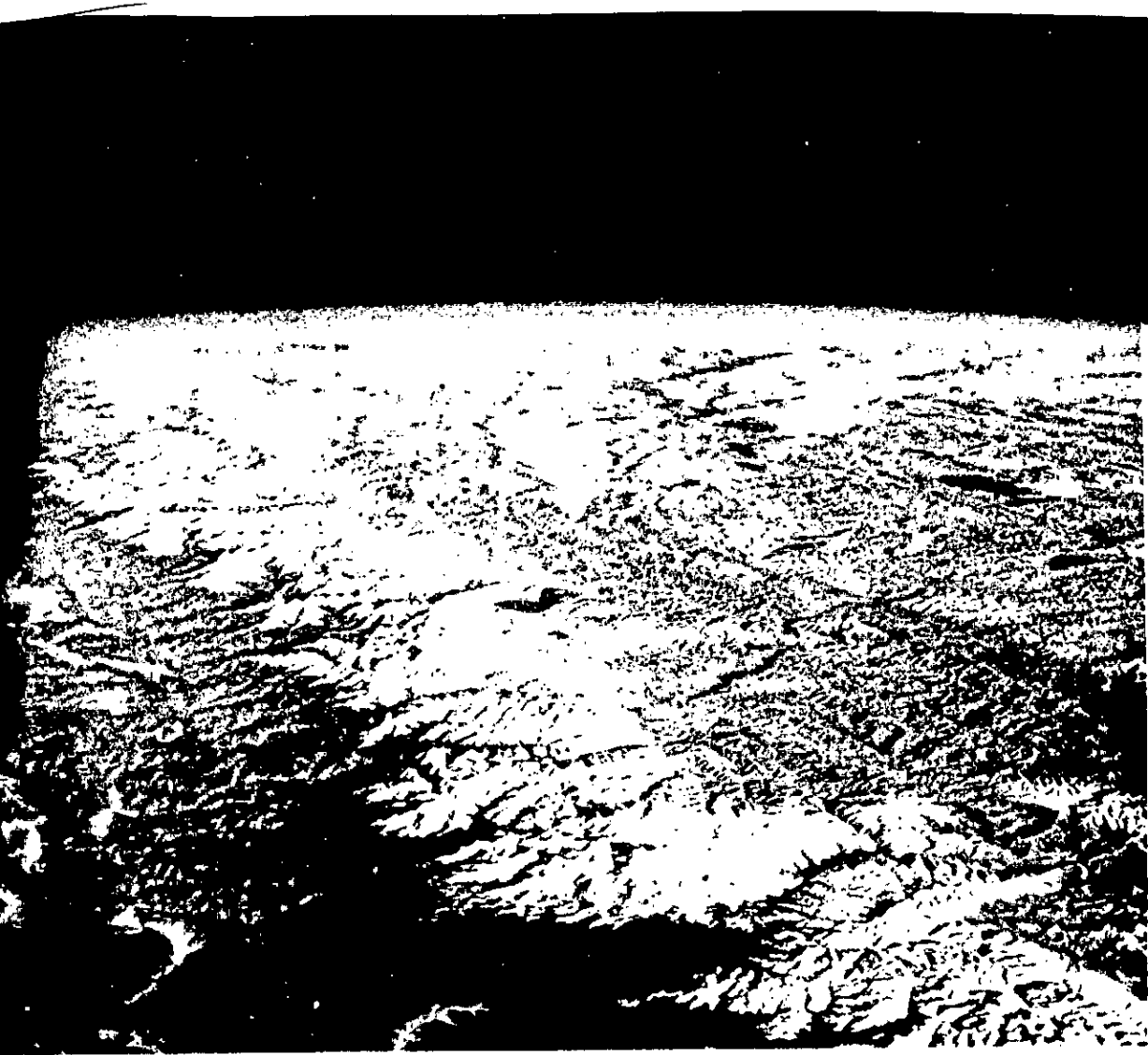
Continental Drift

المجال المغناطيسي للأرض
المغناطيسية المتبقية
الدليل المغناطيسي على توسع قاع المحيط
الأدلة المؤيدة والمعارضة
الأدلة المؤيدة
المغناطيسية القديمة
تطابق القارات
المناخ
الحركة الأفقية في الفوالق
طبقات الصخور ومستحاثاتها
التراكيب
انفصال المحيط والقارة
الأدلة المعارضة
التسرب الحراري
الزلازل الأرضية عميقة المركز
الترسبات المحيطية

ملخص

أسئلة

مراجع إضافية



لقد سبق ان شرحنا في الفصول السابقة الدور الذي يحتمل أن تلعبه الازاحة القارية كمسببة للتراكيب القارية ، وكذلك كيفية حدوث الازاحة القارية المحتملة المتوقع . والان سوف نأخذ بالاعتبار الادلة المؤيدة والمعارضة لنظرية الازاحة القارية .

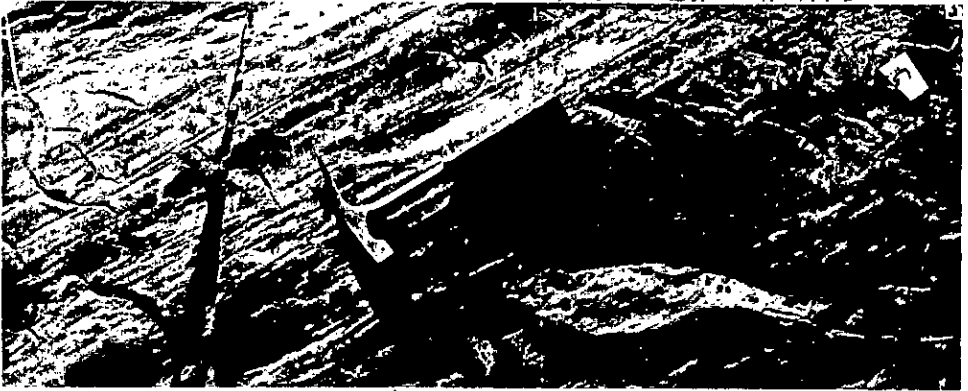
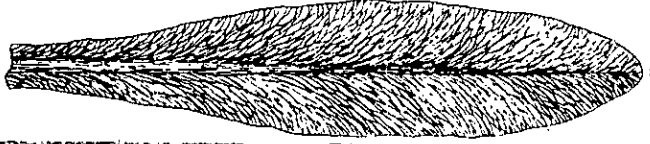
لقد صاحبنا فكرة الازاحة القارية منذ أمكن وضع الخرائط الدقيقة الاولى التي مكنت مطابقة افريقيا وأمريكا الجنوبية احدهما بالآخرى . وحديثا أدت المعلومات الكثيرة الجديدة الى اعادة احياء هذه النظرية . وقد كان لها في الماضي كثير من المؤيدين الذين كانوا قد اقترحوا نماذج مختلفة لعملية الازاحة مع جداول زمنية ومسارات مختلفة . وبما أنه لم تثبت صحة الادلة التي استخدمها مؤيدو مثل هذه النماذج مما أثبت عدم صحتها فان سعة هذه النظرية آلت الى السقوط وخاصة عند جيولوجيي الجزء الشمالي من الكرة الارضية . وكان معظم مؤيدي الازاحة القارية من الجزء الجنوبي . ونظرة سريعة على جيولوجية الجزء الجنوبي من الكرة الارضية يرينا لماذا كان هذا . بعد ذلك يصبح الانعطاف ضروريا للبحث في المجال المغناطيسي للكرة الارضية . واخيرا سوف نناقش الافكار المؤيدة والمعارضة لنظرية الازاحة القارية .

فانتهاء الجزء الاخير من القرن التاسع عشر كان الجيولوجيون الاوروبيون يقومون بتحليل الغاز الدراكيب الدفعية (١) في جبال الالب بينما عمل الجيولوجيون الامريكيون على مسح الغرب الذي كان لنوده قد انفتح امامهم . وكنتيجة لذلك اخذوا بعض الملاحظات القليلة عن اكتشافات اولية في الهند واستراليا وجنوب افريقيا . فقد تم العثور في كل من هذه الاماكن على نبتة من نوع خاص تسمى نبتة الجلوسوبتيرس (٢) في داخل طبقات مغطى ترسبات جليدية . ومنذ ذلك الحين عثر على نفس التتابع في امريكا الجنوبية والقارة القطبية الجنوبية ، ويعتبر مصدر الترسبات الجليدية قاربا وليس جبليا وترتكز على سخور التاعدة المحسزة والملمعة . (انظر الشكل (١٨-١)) . ونبعث الخدوش على الاعتقاد بحدوث حركة جليدية في بعض الحالات وذلك انطلاقا من مناطق تغطيها الان المحيطات . كما تدل المورينات (٣) على حدوث ازاحة قارية . فهي تحتوي على جلاميد من انواع سخور لا توجد على تلك القارة وفي بعض الحالات تتطابق تلك الجلاميد

1. Thrust Structures

3. Moraine

2. Glossopteris Flora



الشكل (١٨ - ١) : أدلة الإزاحة القارية :

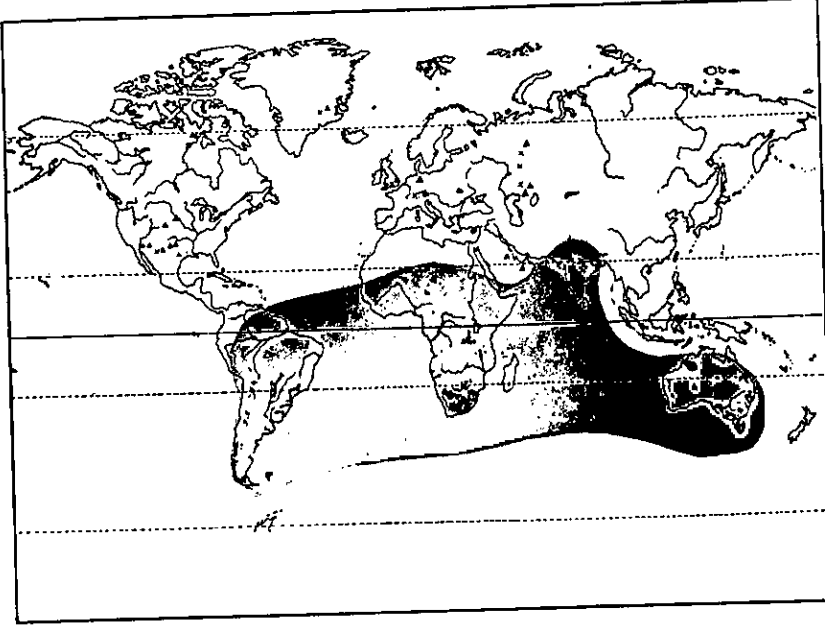
(أ) — جارسوبتريس . هذه الورقة النباتية وجدت في طبقات تغطي الرسوبيات الجليدية القديمة في الهند وأستراليا وأفريقيا الجنوبية والقارة المتحدة الجنوبية .

(ب) — سطح أملس بفعل الجليد في أستراليا يقدم دليلا واضحا على حدوث زحف جليدي هنا . وقد زحف الجليد باتجاه اليمين العلوي .

(ج) — صخور مخدشة بسبب الزحف القديم في أستراليا .

(د) — سطح أملس بفعل نفس الزحف الجليدي بنفس الوقت في أفريقيا .

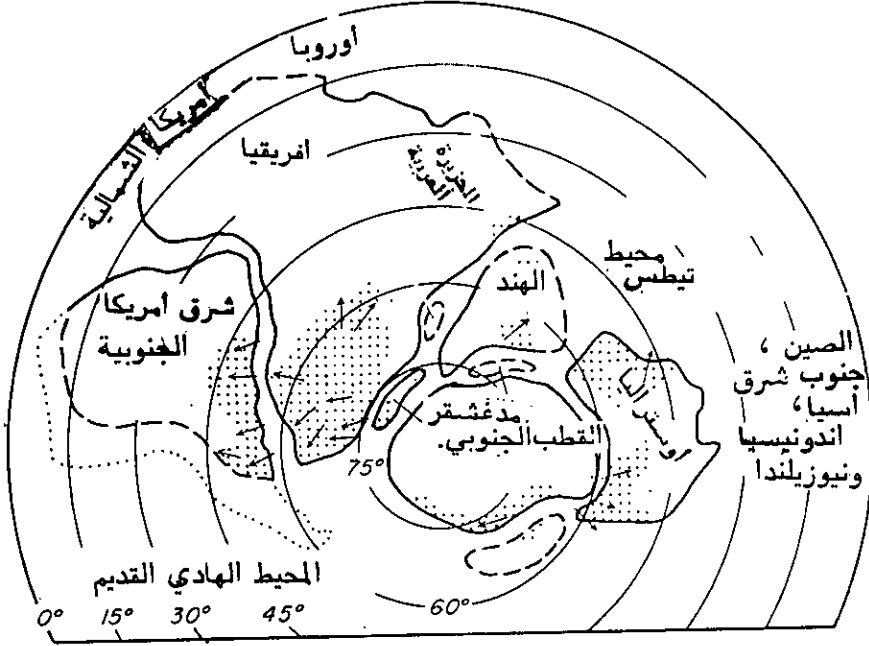
الغريبة مع صخور مكاشف تقع على قارات مجاورة . أما الاسئلة التي تطرح نفسها مباشرة فهي : كيف امكن تكوين جليد واسع الانتشار في هذه المناطق المدارية ؟ وكيف استطاعت نبتة الجلوسوبتيرس الانتشار عبر المحيطات التي تفصل هذه المناطق الان بعضها عن بعض ؟ (انظر الشكل (١٨ - ٢)) . وهذه المناطق واسعة الانتشار لدرجة ان الانحراف في محور دوران الارض لا



الشكل (١٨ - ٢) : خريطة تبين التوزيع الحالي للجليديات القديمة في القارات الجنوبية . والنقطة المعنية قل حوض الازاحة تظهر مظلة . والمناطق التي تحتوي على ترسبات جليدية تظهر بسوداء وتمتد من خط الاستواء حتى القطب الجنوبي . أما الاسهم تشير الى اتجاه حركة الجليد . وتدل المصبات على أماكن المرجانيات بينما تدل الملائمات أماكن ترسب الاملاح انذاك بعيدا في الشمال وهو دليل على الطقس الحار هناك .

يساعد على الحمل لانه حتى في أكثر الارحاء مناسبة تبقى هناك بعض المناطق الجليدية ضمن عشر درجات حول خط الاستواء . فلو أن جميع قارات جنوب الكرة الارضية كانت ملتحمة في يوم ما فانه يمكن تفسير تلك الموجودات . غير انه من اجل توضيح الجغرافيا الحالية لا بد أن تكون القارة قد تكسرت وحصلت فيها ازاحة . (انظر الشكل (١٨ - ٣)) .

وهكذا بدأت فكرة الازاحة القارية . ويعتبر الدليل اليوم الزاما أكثر بسبب اكتشاف الجلوسوبتيرس ومستحاثات أخرى في القارة القطبية الجنوبية



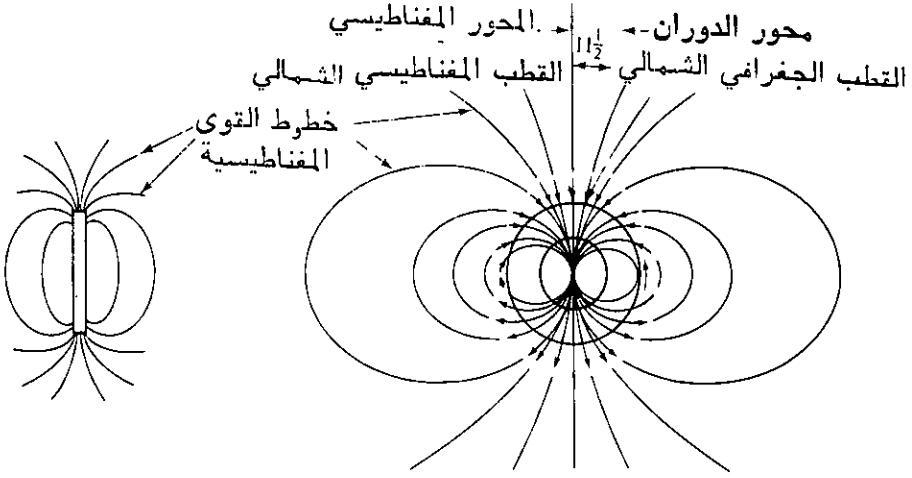
الشكل (١٨ - ٣) : تصور لوضع القارات الجنوبية القديمة . وتدل النقط والاسهم على الزحف الجليدي وحركته . أما الخطوط المقطعة والمنقطة فتشير الى التغير في شكل القارات .

وهي الميزة لمناطق كانت يوما ما رطبة ذات حرارة معتدلة . ان هناك الكثير من الادلة الا اننا قبل تقييمها سوف نناقش الحقل المغناطيسي للارض وذلك لان المعلومات المغناطيسية هي التي استعملت بشكل موسع في وضع نظرية الازاحة القارية .

المجال المغناطيسي للارض

The Earth's Magnetic Field

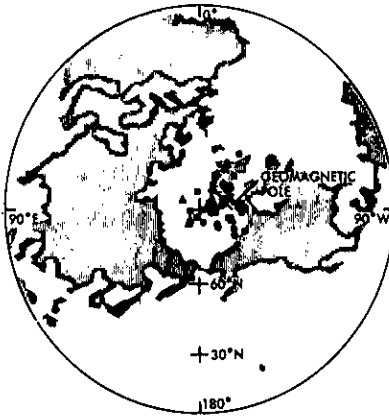
ان المجال المغناطيسي للارض هو الذي يوجه الابرة المغناطيسية ويجعلها تشير باتجاه الشمال المغناطيسي . ويشبه سلوك الارض هذا الى حد كبير كما كما لو كان في داخل نواتها قضيب مغناطيسي ضخمة (انظر الشكل (١٨-٤)) . وعلى كل حال ، فبالرغم من أن النواة مكونة من حديد ونيكل فان مثل هذا



الشكل (١٨ - ٤) : المجال المغناطيسي الأرضي الذي يشبه قضيباً مغناطيسياً . إن الأقطاب المغناطيسية لا تنطبق على الجغرافية التي نحدد حسب محور الدوران . أما الأسهم الصفيرة الداكنة فتدل على الاتجاه الذي تشير إليه الإبرة المغناطيسية أو تركت تتحرك بحرية .

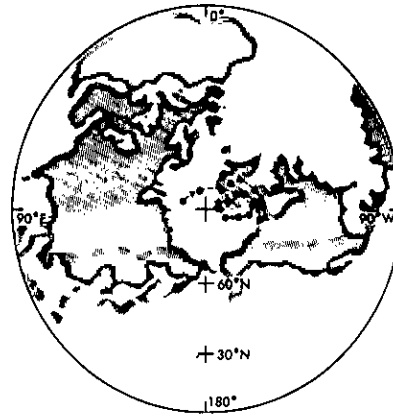
المغناطيس لا يمكن أن يوجد في الحرارة السائدة هناك . فالحديد يفتقد مغناطيسيته إذا سخن فوق درجة حرارة معينة ، وذلك تحت نقطة الانصهار . كما إن المجال المغناطيسي للأرض ليس من ذلك النوع المزدوج القطب المبسط كالمجال الخاص بقضيب المغناطيس (انظر الشكل (١٨ - ٥)) . إذ يكون المجال الأرضي من حقلين : حقل مزدوج القطب والآخر غير مزدوج . واحد نتائج وجود الحقل غير المزدوج تتمثل في كون القطب المغناطيسي الجنوبي ، على حافة القارة القطبية الجنوبية يبعد ١٣٠٠ ميل عن النقطة المقابلة للقطب المغناطيسي الشمالي الذي يقع في شمال كندا . وبشكل عام يمكن اعتبار الحقل الأرضي في معظمه حقلًا مزدوج القطب .

والمجال المغناطيسي الأرضي يجعل البوصلة تشير باتجاه القطب المغناطيسي ، ولو تركت هذه البوصلة تتحرك في اتجاه عامودي أيضاً لوجدنا فيها انحرافاً كذلك . (انظر الشكل (١٨ - ٤)) . ويعتبر الحقل أفقياً عند خط الاستواء المغناطيسي بينما هو عامودي عند الاقطاب ويتغير الوضع بينهما ، وتساوي شدة المجال الأرضي (انظر الشكل (١٨ - ٥)) . كذلك تظهر الدراسات الحديثة التي أخذت من عدة أماكن لمئات من السنوات على حدوث تغير في اتجاه وانحراف



١ قراءات من مرصد

- ▲ 90° - 60°N, 60° - 90°S
- 60° - 30°N, 30° - 60°S
- 30°N - 30°S



ب محطة زلزالية

- ▲ أزنشون Ascension Is
- مدينة الكاب Cape Town
- ◆ فونج كنج Hong Kong
- لندن London

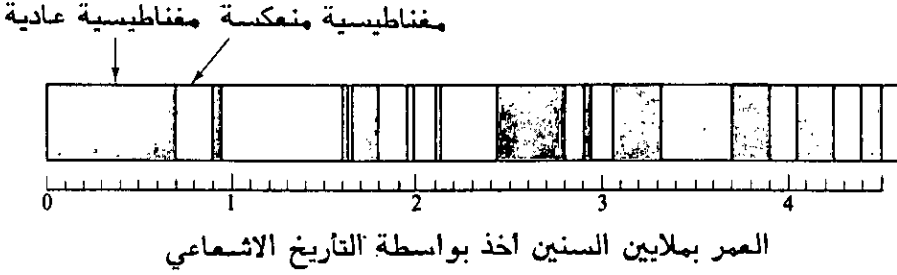
الشكل (١٨ - ٥) : تغيرات في المجال المغناطيسي الأرضي .

(أ) - تغيرات في مكان القطب المغناطيسي الشمالي كما حسبت عام ١٩٤٥ نتيجة قراءات لاتجاه وميل المجال المغناطيسي الأرضي أخذت من أماكن مختلفة . وقد فرغ في هذه الحسابات ازدواجية القطب فنظهر بذلك تأثير الجزء غير مزدوج القطب من المجال الأرضي .

(ب) - تغيرات في مكان القطب المغناطيسي الشمالي مع الزمن . إن الزمن بين النقط يساوي ٤٠ - ٥٠ سنة . وفي كلا الشكلين يشير المصائب إلى مكان القطب الجغرافي الشمالي ، و إشارة (x) تعطي مكان معدل القطب المغناطيسي الشمالي لعام ١٩٤٥ .

المجال الأرضي (انظر الشكل (١٨ - ٥)) . وكذلك تظهر الدراسات الحديثة تباينا في شدة المجال . وتشير دراسة المغناطيسية المتبقية (١) التي سنأتي على تفاصيلها فيما بعد ، بأنه حدث انعكاس في اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي عدة مرات خلال التاريخ الجيولوجي السابق ، كأن يشير اتجاه الشمال في الإبرة المغناطيسية إلى اتجاه القارة القطبية الجنوبية ، والتوقيت بالنسبة لهذه الانعكاسات التي حصلت خلال بضعة الملايين عام المنصرمة معروف بما هو كاف لاستخدامها في تحديد عمر الصخور (انظر الشكل (١٨ - ٦)) . ولا بد لاية نظرية تبحث في نشأة المجال المغناطيسي الأرضي من أن تفسر مثل هذه الملاحظات .

ويعتقد بأن منشأ المجال المغناطيسي الأرضي يكمن في حدوث تيارات كهربائية في النواة . ومن القوانين المعروفة في الفيزياء ، أن تيارا متحركا يخلق مجالا



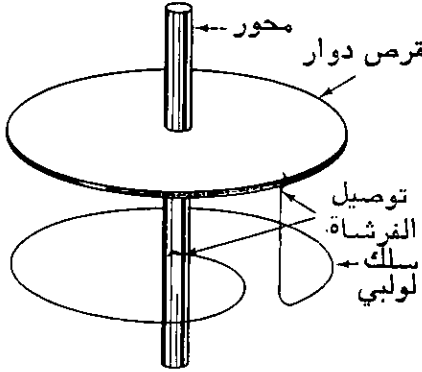
الشكل (١٨ - ٦) : منعكسات Reversals المجال المغناطيسي الارضي .

مغناطيسيا ، وبالعكس يتولد تيار في موصل ما اذا نقل هذا في داخل مجال مغناطيسي . ويمكن أن تنشأ التيارات الكهربائية في النواة بطرق مختلفة ، مثله في ذلك كمثل نشاط البطارية الضعيفة الذي ينشأ عن فوارق في التركيب . وهذه التيارات بمجرد تكوينها تستطيع أن تتضخم بواسطة النشاط الديناميكي للنواة الأرضية . ويستطيع جهاز الدينامو توليد تيار كهربائي بتحريك الموصل الى داخل مجال مغناطيسي .

وتعتبر النواة في الأرض هي الموصل ، وبما أنها سائلة فإنه يكون باستطاعتها أن تتحرك والتصور الجاري ، أن هذه العملية تشبه طريقة الدينامو (المولد) الذي يولد تيارا كهربائيا وهذا التيار يغذي الموتور الكهربائي الذي يقود الدينامو . وأما الاحتكاك والمقاومة الكهربائية فانهما يحدان من استمرارية حركة مثل هذه الآلة الا اذا أمكن اضافة طاقة جديدة . وبالنسبة للأرض يمكن أن تأتي هذه الطاقة الإضافية من حركة النواة السائلة . وتدل التقديرات على أنه في حالة الأرض لا يلزم الا القليل جدا من الطاقة الإضافية وأما الطاقة اللازمة لتحريك النواة وهي ما تكون غالبا على شكل تيارات تحويلية فانهما يمكن أن تأتي من عدة مصادر .

وهكذا فان التيار يبدأ بشكل ما في النواة الأرضية ، وهذا يؤدي بدوره الى نشوء مجال مغناطيسي . عندئذ تتحرك النواة الموصلة خلال المجال المغناطيسي فيتولد تيار في ذلك الجزء من النواة مبتدئا بذلك العملية كلها (انظر الشكل (١٨ - ٧)) . ولو كانت الأرض ثابتة لكانت حركة النواة غالبا عشوائية ومن ثم

سوف تلغي المجالات المغناطيسية الناتجة بعضها بعضا على الأرجح . وينتج عن دوران الارض توجيه حركات النواة بحيث تقع هذه وما ينشأ عنها من



الشكل (١٨ - ٧) : دينامو القرص يبين بشكل عام كيفية نشوء المجال المغناطيسي . القرص مثبت على المحور ويدور معه . أما السلك الكهربائي اللولبي فهو متصل مع المحور والقرص بواسطة فرشاة . ولكي تبدأ العملية افترض ان هناك تيارا جرى في السلك . ينتج التيار مجالا مغناطيسيا ، وبما أن القرص هو عبارة عن موصل يتحرك في المجال فانه يتولد تيار فيه . وهذا التيار يجري الى السلك بواسطة الفرشاة وهكذا تستمر العملية .

تيارات على سطوح عامودية بالنسبة لمحور الدوران . ولو نظر الى الكرة الارضية من الخارج لكانت التيارات الناتجة في مجموعها موازية لخطوط العرض . وينشأ عن مثل هذه التيارات مجال مغناطيسي مزدوج القطب يتركز على محور الدوران .

ويكون للمجال الناشئ بهذه الطريقة جميع خواص المجال المغناطيسي الارضي . اما المجال الرئيسي فيكون واحدا ذا قطب مزدوج ، وتنبسط فسوق هذا مجالات اخرى يعود سبب وجودها الى اختلافات في حركة النواة . كما ان هذا يقدم تعليلا للفروق في شدة وموقع المجال الارضي . وعموما لا ينطبق مجال القطب المزدوج على محور دورانه كما تتنبأ النظرية مع انه اذا اخذنا معدله على امتداد فترة زمنية طويلة فقد يبدو مركز مجال القطب المزدوج واقعا على محور الدوران . وما مواقع القطب المغناطيسي التي استخرجت من المغناطيسية المتبقية في عصر البلايستوسين والصخور الاكثر حداثة والمحيطه بالمحور الا دليلا على هذه الحقيقة . اما مجال القطب المزدوج الحالي فهو ينحرف بمقدار 11% درجة عن محور الدوران ويقع في شمال غرب جرينلاند ، على مسافة من القطب الشمالي المغناطيسي الذي يقع في شمال كندا .

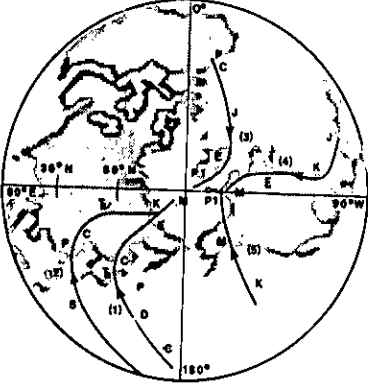
Remanent Magnetism

المغناطيسية المتبقية

لقد كانت قياسات المغناطيسية المتبقية في الصخور مصدرا للكثير من المعلومات الخاصة بالازاحة القارية . والمغناطيسية المتبقية هي ذلك النوع من المغناطيسية الذي يبقى محفوظا في الصخور من زمن تكوينه . فمثلا في حالة برود البازلت ، وعندما تصل درجة الحرارة الى نقطة معينة ، وهي بالتأكيد دون درجة حرارة التبلور فان المعادن القابلة للمغطة كالماجنتايت بشكل رئيسي تتمغطس في المجال الارضي . ولا تتأثر مغطستها كثيرا اذا استمرت البرودة الى ما دون درجة الحرارة تلك ، فيما عدا تأثيرها بالمجالات القوية جدا التي تعادل اضعاف ما هو موجود في اي مكان بالارض . وهكذا يصبح ممكنا قياس اتجاه وانحراف المجال الارضي في وقت برودة البازالت . ويمكن استخدام الانحراف في حساب البعد عن القطب المغناطيسي .

ولقد امكن جمع بيانات عن المغناطيسية المتبقية لصخور ذات اعمار مختلفة من القارات اما التخصص الذي يعتني بدراسة الصخور القديمة فيسمى بعلم المغناطيسية القديمة (٥) وتتجمع اماكن الاقطاب المغناطيسية لكل من العصور الجيولوجية على القارات في منطقة تعتبر صغيرة نسبيا . وكيفما كان فانه لكل من العصور الجيولوجية عموما مواقع مختلفة للقطب المغناطيسي على اي من القارات ، اي أن الاقطاب في اي عصر جيولوجي تسقط في مواقع مختلفة على كل قارة . (انظر الشكل (٨ - ١)) . وفي هذا دليل على حدوث الازاحة القارية . انه اذا كان القطب المغناطيسي هو الذي تحرك فانه يجب أن يتواجد عند نفس المكان خلال اي من العصور الجيولوجية بالنسبة لكل قارة ، غير ان كل قارة تعطي بدلا من ذلك موقعا مختلفا ابان كل عصر .

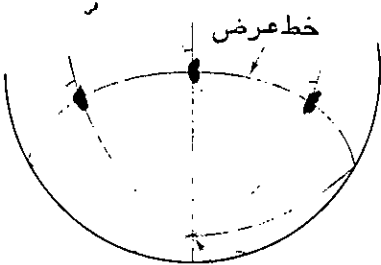
ولهذا ، اذا كان تفسير بيانات المغناطيسية القديمة صحيحا فانه لا بد وأن تكون القارات قد تحركت من مكانها بالنسبة لبعضها بعضا . وقد يكون القطب المغناطيسي قد تحرك ايضا . لاحظ حسب الشكل (١٨ - ٨) بأن البيانات المغناطيسية تدل على عدم حدوث ازاحة لأمريكا الشمالية بالنسبة لأوروبا منذ زمن الايوسين .



Pl	بايوسين	حوالي ٦ ملايين سنة مضت
M	ميوسين	حوالي ١٨ مليون سنة مضت
E	ايوسين	حوالي ٥٠ مليون سنة مضت
K	كريتاسي	حوالي ١٠٠ مليون سنة مضت
J	جوراسي	حوالي ١٦٠ مليون سنة مضت
T	ترياسي	حوالي ٢٠٠ مليون سنة مضت
P	برمي	حوالي ٢٥٠ مليون سنة مضت
C	كربوني	حوالي ٣١٠ مليون سنة مضت
D	ديفوني	حوالي ٣٧٥ ملايين سنة مضت
S	سيلوري	حوالي ٤٢٠ مليون سنة مضت
F	كامبري	حوالي ٥٥٠ مليون سنة مضت

(١) أوروبا (٢) أمريكا الشمالية (٣) أستراليا (٤) الهند (٥) اليابان

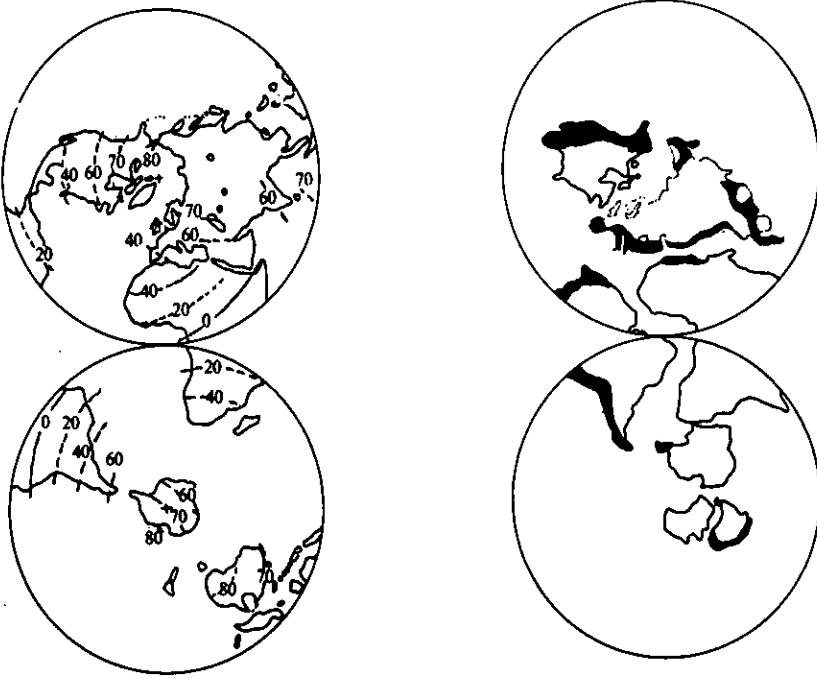
الشكل (١٨ - ٨) : نرى في هذا الشكل موقع القطب المغناطيسي نسبياً لكل قارة في كل المصورات الجيولوجية ، وأعطى هذا بالحروف . والخطوط الموصلة بين هذه المواقع تبين الإزاحة الظاهرية في القطب المغناطيسي لكل من القارات . ونستدل من هذا الشكل أن الحركة النسبية بين القارات وبعضها لا بد وأن تكون قد حدثت . لأنها لا تبين مسار الإزاحة لأن إمكانات الحصول على بيانات باليومغناطيسية كما في الشكل (١٨ - ٩) تعتبر محدودة .



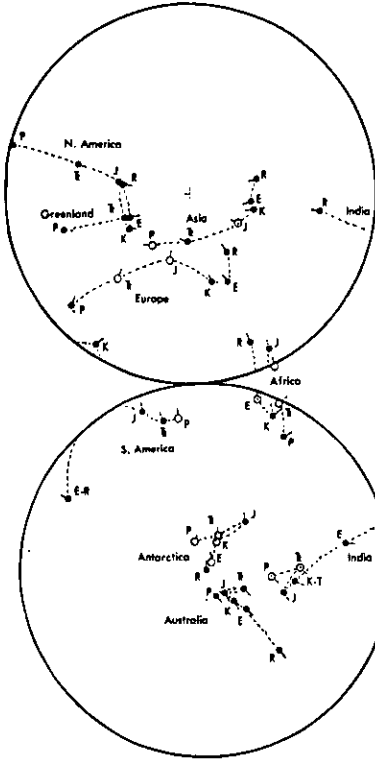
الشكل (١٨ - ٩) : البيانات المغناطيسية تربنا خط العرض فقط واتجاه القارة . أما المعامل الإغني للمغناطيسية فيربنا اتجاه القطب بينهما نأخذ من العمودي خط العرض . وبذلك قد تكون القارة في أي مكان حسب هذا الاتجاه على خط العرض ذلك .

قطب مغناطيسي قديم

وهناك بعض التحديدات لبيانات المغناطيسية القديمة فهي تخبر عن الاتجاه وكذلك المسافة عن القطب المغناطيسي ، ولهذا فهي تبين دوران قارة ما وكذلك موقعها ضمن خطوط العرض (انظر الشكل (١٨ - ٩)) . إلا أنها لا تدل على الموقع بالنسبة لخطوط الطول ، فقد تكون القارة عند أي مكان على خط العرض المحدد . ويفتح ذلك مجالا واسعا لحرية التخيل ومن ثم اقتراح أنماط مختلفة من إعادة البناء ، خاصة وأن الكثير من الصخور لا تزال غير ممسوحة ومؤرخة تماما . (انظر الأشكال (١٨ - ١٠) و (١٨ - ١١)) . فبالرغم من تقارب مواقع الاقطاب حين تجتمعها لعصر ما ، فإن الاحتمال يبقى قائما بأن القطب المغناطيسي قد لا يكون منطقتا على القطب الجغرافي . وهما يبعدان عن بعضهما حاليًا بمقدار ١١ درجة .



الشكل (١٨ - ١٠) : تصور لوضع القارات خلال التاريخ الجيولوجي معتمدا على بيانات الباليومغناطيسية . وفي هذه الحالة اخذنا عمرا واحدا وهو الجوارسي . في اليسار نجد القارات في وضعها الحالي مع خطوط عرض الجوارسي ، وذلك حسب تقييم البيانات الباليومغناطيسية . وبناءا على هذه البيانات فانه واضح امكانية اخذ اوضاع مختلفة القارات . وفي اليمين نجد المواقع المحتملة ، وهذه تعتمد ايضا على البيانات الباليومغناطيسية ومعلومات اخرى ، كان تكون الحركة مقبولة ومعقولة من المكان خلال العصر الجيولوجي الاخير وحتى العصر الذي يليه . ونرى في الشكل (١٨ - ١١) مواقع القارات خلال العصر الجيولوجي الاخير .



R الحديث

T الثلاثي

E ايبوسين

K الكريتاسي

J الجوراسي

R الترياسي

P البرمي

حوالي ٥٠ مليون سنة مضت

حوالي ١٠٠ مليون سنة مضت

حوالي ١٦٠ مليون سنة مضت

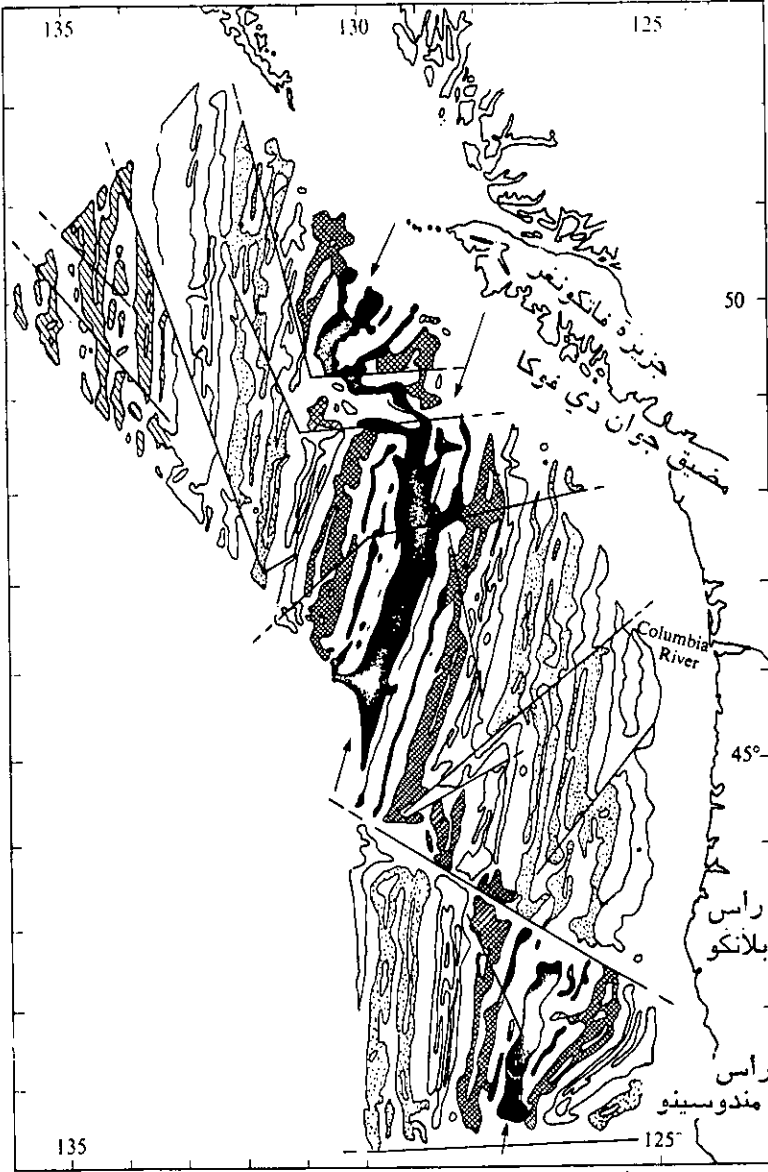
حوالي ٢٠٠ مليون سنة مضت

حوالي ٢٥٠ مليون سنة مضت

المشكل (١٨ - ١١) : مصور حركات القارات منذ عصر البرمي . لقد وضعت الحلقات في مراكز القارات . أما الإذئاب المتصلة بتلك الحلقات فتعطي الاتجاه الدالي للقارات نحو الشمال . أما الحلقات المفتوحة فتظهر المواقع التي ليس فيها توافق مع معلومات الباليومغناطيسية . أما الحلقات المفتوحة وبداخلها نقطة فتدل على عدم وجود بيانات باليومغناطيسية هناك .

الدليل المغناطيسي على توسع قاع المحيط

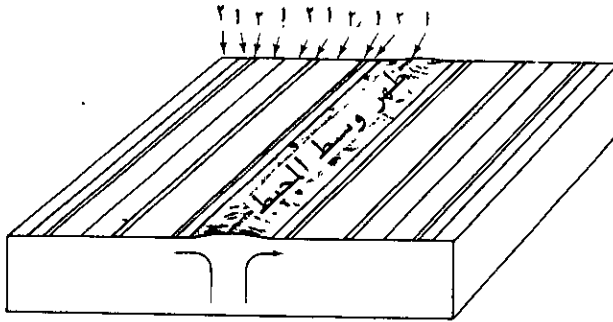
يبدو أن عملية توسع قاع المحيط تتقدم أفضل وسيلة اقترحت حتى الآن لتفسير الاراحة القارية . ويمكن الآن اضافة المغناطيسية المتبقية كدليل على حدوث توسع في قاع المحيط علاوة على ما ورد من شرح في الفصل الاخير . ان مغناطيسية قاع المحيط المتبقية تتكون بشكل عام من تتابعات من اشرطة مغناطيسية عادية ومعكوسة تجعل جهاز قياس المغناطيسية (الماجنيتوميتر) (٦)



الشكل (١٨ - ١٢) : الشذوذ المغناطيسي Magnetic anomalies في جزء من المحيط على امتداد الساحل الغربي لأمريكا الشمالية . وقد رسمت المغناطيسية عندها تكون إيجابية ، ويعتقد بأنها تكونت حينما يوجد مغناطيسية باقية عادية من المجال المغناطيسي الأرضي . أما المناطق البيضاء بينها فتشير إلى وجود مغناطيسية أقل من العادة ويعتقد بأنها أماكن تحتوي صخورها الأساسية على مغناطيسية باقية معكوسة . أما الخطوط المستقيمة فهي فوالق جعلت النظام ينحرف بأكمله . الاسهم تدل على الأطوال القصيرة لظهر المحيط . والتضام عوازل ومناظر الظهور .

يسجل احزمة ذات مغناطيسية مرتفعة ومنخفضة ضمن المجال الارضي على خلاف كل ما هو موجود على القارات . وتوازي هذه الاحزمة ظهور ووسط المحيطات النشطة ولها وضع تناظري يحيط بالظهور وهي تمتد حتى مسافة ١٦٠٠ الى ١٩٠٠ ميل على كل من جانبي ظهر وسط المحيط الاطلنطي (انظر الشكل (١٨ — ١٢)) . وحسب نظرية توسع قاع المحيط فان ارض المحيط تنشأ عند الظهر ، وحالما يحدث ذلك تتمغطس بواسطة المجال المغناطيسي الارضي . وكما لاحظنا سابقا فان المجال الارضي كان قد انعكس عدة مرات خلال بضع ملايين السنين الاخيرة . وربما يكون في هذه الانعكاسات تعليل لحدوث تتابع من احزمة ذات شدة مرتفعة او منخفضة عن المغناطيسية العادية موازية للظهر . وقد تعتبر قيعان المحيط شريطا مسجلا كما انها قد تمثل احزمة ناقلة (انظر الشكل (١٨ — ١٣)) .

١ | عادي
٢ | معكوس



الشكل (١٨ — ١٣) : تكوين أنظمة شذوذ مغناطيسية عند ظهور وسط المحيطات . حسب هذه النظرية تخرج الالبا التي تكون قاع المحيط من عند الظهر فتتمغطس بالمجال المغناطيسي الارضي في نفس الوقت الذي تبرد فيه . ثم تدخل التيارات التحولية هذه الالبا بعيدا عن الظهر فينتج عن ذلك نظام مغناطيسي مواز ومناظر للظهور .

الادلة المؤيدة والمعارضة

Pro and con

سوف نتمن الان في البراهين الواردة المؤيدة منها لنظرية الازاحة القارية والمعارضة لها كذلك وسنناقش بعض النماذج المطروحة عن الازاحة .

الادلة المؤيدة Pro

ان البرهان على الازاحة القارية يتضمن التالي :

المغناطيسية القديمة Paleomagnetism ناقشناها من قبل .

Fit of the continents تطابق القارات

ذكرنا سابقا بأنها ابداع من أن تكون مجرد مصادفة ، ويبدو أن نماذج التطابق التي صنعت حديثا بواسطة الآلات الحاسبة معتمدة على خطوط الارتفاع تحت البحرية المتساوية بهدف احتواء الرغوف القارية تبرز ذلك بوضوح . ولا بد أن تكون الالتواء والتصدع وكذلك التداخل منذ انشطار القارات وازاحتها (منذ ٢٥٠ مليون سنة تقريبا) قد أدت الى حدوث تعديل على أشكال القارات .

المناخ : لقد بحثنا الجليديات قبل قليل .

واما القارة القطبية الجنوبية فقد كان المناخ هناك مختلفا تماما عما هو عليه الان قبل أن تبدأ فترة التجمد، فقد وجدت هناك صخور تحتوي على مستحاثات بحرية ضحلة كما وجدت في مكان اخر يبعد مئات الاميال كئبان رملية تدل على ان الصحارى كانت منتشرة بشكل واسع .

أنه من الصعب تصور أن تنمو نبتة الجلوسوبتيرس التي عثر عليها حديثا على بعد ٢١٠ اميال فقط من القطب الجنوبي في القارة القطبية الجنوبية ، هناك في المنطقة الباردة حيث الليل الذي يدوم شهورا في نفس الوقت الذي توجد فيه في المناطق الاستوائية الهندية كما عثر هناك على أنواع أخرى من المستحاثات المميزة للمناخ المعتدل وكذلك المناخ الدافئ ومن ضمنها طبقات من الفحم . ان بعض النباتات تنمو داخل الدائرة القطبية في الوقت الحالي .

كذلك ان في توزيع الاملاح خلال التاريخ الجيولوجي دعما لفكرة الازاحة ويبدو

انها تتفق مع البيانات المغناطيسية . والاملاح تدل على أن ظروفنا جافة وحارة كانت سائدة ، وتوجد الصحارى في ايامنا هذه بين خطوط العرض ٣٠ شمالا وجنوبا من خط الاستواء . وعلى أية حال ليس هناك في الوقت الحاضر من ترسبات محلية كبيرة بينما عثر على رسوبيات املاح قديمة ذات عمر واحد تقريبا هي والجليد الذي كان قد وجد في شمال شرق جرينلاند والجزء القطبي من كندا ، وسيبيريا ، والمانيا ، وكنساس ، ونيومكسيكو ، كما انها وجدت في أماكن أخرى . انظر الشكل (١٨ — ٢) .

وتعتبر الشعاب المرجانية محصورة حاليا بين ٣٠ درجة شمال وجنوب خط الاستواء ايضا ، بينما عثر على ترسبات قديمة المهد بعيدا في الشمال . وهناك شيء لا بد من أخذه بالاعتبار عند تقييم عامل المناخ وهو أن الفترة الجليدية الأخيرة ، البلايستوسين ، حدثت في المنطقة المتعارف عليها الآن بانها معتدلة . وهكذا فإن المناخ انقلب في فترة المليون سنة الأخيرة . وقد يكون المناخ قد تغير في الماضي ايضا بالرغم من انه من الصعوبة بمكان تخيل حدوث ثلاجات قارية عند خط الاستواء مع أنه توجد ثلاجات جبلية هناك الآن .

Apparent Rifting of the Faults

الحركة الأفقية في الفوالق

يعتقد بأن مثل هذه الحركات قد تحدث أزاحة قارية إذا كانت كبيرة بالقدر الكافي والدليل على ذلك ليس قاطعا غير أنه وكما ذكرنا سابقا في حالة فالق سان اندرياس قد تكون قد حصلت حركة لبضعة مئات من الاميال أو أكثر ، وربما كانت تلك الحركة هي التي فتحت خليج كاليفورنيا . (انظر الشكل ١٧ — ٩) . ومثل هذه الفوالق سبق وصفها في عدة أماكن أخرى . (الشكل ١٨ — ١٤ و ١٨ — ١٥) .

Rock Layers and their Fossils

طبقات الصخور ومستحاثاتها

ان عملية جمع القطع القارية تشبه في حد ذاتها احجية jig-saw الذي لا تنطبق قطعه بعضها على بعض تماما . وعملية مطابقة الطبقات المختلفة من



المشكل (١٨ — ١٤) : صورة من جيبني ٤ باتجاه الشمال الشرقي عبر شبه جزيرة سيناء في الشمال الشرقي العلوي نرى البحر المتوسط وفي الجنوب السفلي نرى النهاية الشمالية للبحر الاحمر . وشبه جزيرة سيناء محددة بخليج العقبة وخليج السويس . أما خليج العقبة فهو جزء من منخفض نرى فيه البحر الميت ايضا . ان البحر الاحمر هو خسف قد يكون نشأ من انفصال شبه الجزيرة العربية عن افريقيا ، وبذا يكون الخليجان المذكوران لهما علاقة بهذا الكسر .

الصخور الرسوبية تشبه الى حد ما محاولة مطابقة احجية منشار الدوران ذي الراقات العديدة الذي فقدت منه عدة قطع . وبين (الشكل ١٨ — ١٦) الاطار العام الستراتجرافي للقارات الجنوبية . ويبدو التشابه في العصر الكربوني بين تلك القارات في غاية الوضوح . كما ويقوم هذا التشابه في عصر الجوارسي بينها جميعها فيما عدا اوستراليا . وتوحي الستراتجرافيا والمستحاثات الاوسترالية بحدوث انعزال في القارة الاوسترالية عن القارات الاخرى بعد الثلج في عصر الكربون ، ويبدو انها بقيت منعزلة كذلك حتى يومنا هذا . وكذلك يبدو ان الحيوانات او النباتات الاوسترالية الحالية كانت قد هاجرت بين وقت واخر بشكل اختياري من القارة الرئيسية اسيا .

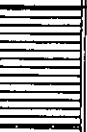
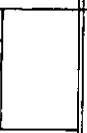
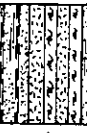
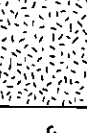
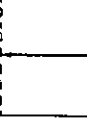
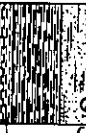
اما النباتات الحالية والحيوانات الجرابية (التي تحمل صفارها تحت بطنها فانها مختلفة تماما عن تلك الموجودة على القارات الاخرى . ولم تصل



الشكل (١٨ - ١٥) : نظرة باتجاه الشمال الشرقي، على النهاية الجنوبية للبحر الاحمر وخليج عدن أخذتها جيهني الحادية عشرة من ارتفاع ٤٧٠ ميل فوق افريقيا التي تظهر غربي مقدمة الصورة . ويبدو المحيط الهندي في اليمين . وتماثل شبه الجزيرة العربية النهاية الجنوبية الغربية للصورة . قد يعود منشأ البحر الاحمر وخليج عدن الى كسور عند انفصال الجزيرة العربية عن افريقيا .

اللبونات المشيمية التي سكنت القارات الاخرى الى أستراليا .
ان نبتة الجلوسويتيرس التي عثر عليها مباشرة فوق الرسوبيات الجليدية كانت قد استخدمت فيما مضى كبرهان على اتصال كان قائما بين القسارات الجنوبية . من المحتمل ان تكون البذور قد عامت عبر المحيطات لتنتشر هذه النباتات غير ان هذا لا يبدو معقولا . اما هذه الايام ، فان الجزر البركانية الناشئة حديثا سرعان ما تطور نباتات لها الا ان بذورها تنقل هناك بواسطة الطيور .
ان أولى الحيوانات الطائرة لم تظهر الا بعد مرور عشرات الملايين من السنين على الانفصال القاري المتوقع والازاحة القارية . لقد اقترح في الماضي تواجد جسور برية وسلاسل من الجزر لكن تركيب المحيط كما هو معروف يجعل هذا الاحتمال مستبعدا .

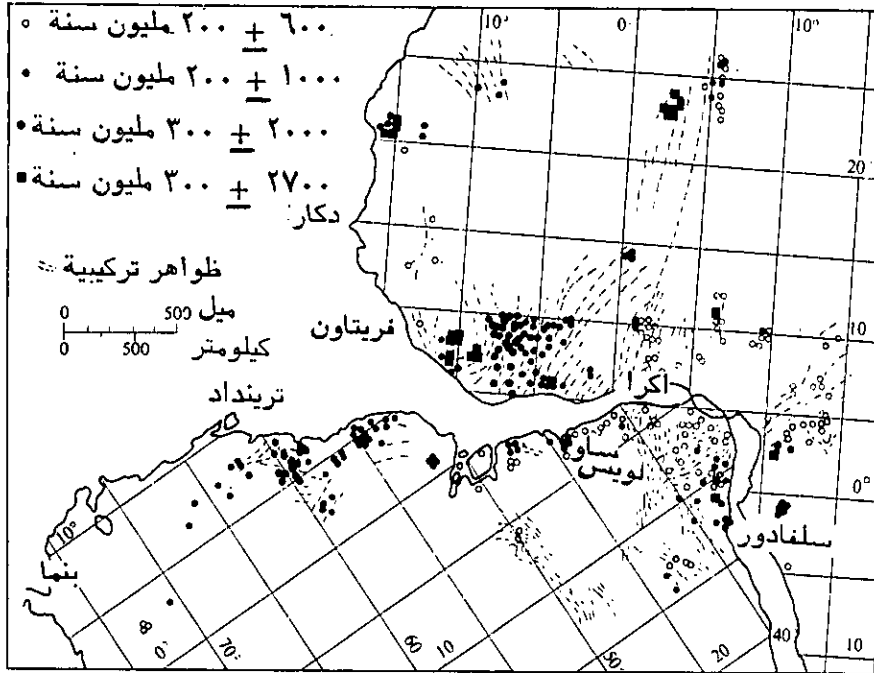
ومن ناحية اخرى يعتبر العثور على الميزوسورس ، ذلك الزاحف السباح ، في امريكا الجنوبية وجنوب افريقيا دليلا قويا يؤيد فكرة اتصال هاتين القارتين . فمع

الفترة الجيولوجية	انثراكسكا	أمريكا الجنوبية	شبه الجزيرة الهندية	أوستراليا	جنوب أفريقيا
الكريتايسي					
الجوراسي					
ال ترياسي					
البيريغي					
الكرنوفي					

الشكل (١٨ - ١٦) : علوود سترأوزرافسي ووسط القارات البئررية . في الجزء الرابع من الكتاب نجد وفقا للهمطحات الخاصة بالاعمار .

انه سباح الا ان هذا الزاحف المائي عاش في المياه العذبة ولذا فمن غير المعقول ان يكون قد عبر محيطا سباحة .

وعثر ايضا على كثير من الزواحف الاخرى التي كانت قد عاشت خلال فترة الاتصال على القارات الجنوبية . وتوزيع مثل هذه الزواحف لا يتطلب وجود قارة واحدة متصلة ببعضها ولكنه قد يكون حدث ذلك ضمن تشكيل يشبه الوضع القائم في أيامنا هذه او بواسطة قارة واحدة طيعا .
وترينا التأريخات الاشعاعية بالرغم من قلة عددها تطابقا جيدا بين صخور القاعدة في غرب افريقيا وشمال البرازيل بينما لا تظهر التأريخات المأخوذة من البازالت توافقا كبيرا كما يبدو من (الشكل ١٨-١٦) .



الشكل (١٨ - ١٧) : عند وصل افريقيا و أمريكا الجنوبية مع بعضهما نرى تطابقا في التراكيب وعمر الصخور .

Structures

التراكيب

وهناك تجربة اخرى يمكن القيام بها ، تتمثل في رؤية ما اذا كانت الالتواءات والصدوع والتراكيب الاخرى ذات العمر الواحد تكمل بعضها بعضا اذا وضعنا

القارات عند بعضها بعضا . ويوجد هنا اختلاف شديد في الاراء وذلك جزئيا لان النتائج تعتمد الى حد كبير على كيفية ربط القارات ويوجد العديد من الاراء حول هذه النقطة بالذات وفي جميع محاولات اعادة البناء تتطابق بعض التراكيب بينما يتنافر بعضها ، وهكذا تصبح المسألة مرة اخرى شخصية من حيث النظر الى التراكيب واعتبار أي منها في غاية الاهمية ان تحديد تاريخ تكوين التراكيب صعب في كثير من الحالات ، ومراعاة التعديل في ذلك بواسطة فكرة الازاحة المقترحة وكذلك عن طريق حدوث التواءات وتصدعات فيما بعد ، كل ذلك يشكل مشكلة . (انظر الشكل (١٨ - ١٧) .

Decoupling of ocean and continent

انفصال المحيط والقارة

تنتهي التراكيب الكبيرة لكل من المحيطات والقارات فجأة حيث يحدث اتصال بينهما . وفي هذا دليل على كونها مفصولين وهذا بدوره يعود الى احتمال حدوث حركة لاحداها بالمقارنة مع الاخرى . ويمكن رؤية امثلة على مثل هذا الانتهاء المفاجيء حيثما تلتقي تراكيب مع الحافة القارية في زاوية كبيرة ففي شمال كاليفورنيا يمتد غالقي سان اندرياس موازيا للساحل لكثير من الاميال ولكنه ينتهي فجأة حيث يتغير اتجاه الساحل . كما ان نطاق الكنسوز الخاص بالمحيط الهادي ينتهي فجأة عند الساحل الكاليفورني . ويفترض حدوث حركات كبيرة في كلا الحالتين لكنها تنتهي فجأة عند الحدود بين المحيط والقارة .

Con

الادلة المعارضة

سوف نأخذ الان بالاعتبار ما يتعارض وفكرة الازاحة القارية من ادلة . وقد كانت بعض النقاط المعارضة قد ذكرت في معرض الحديث عن الادلة المؤيدة وذلك لكي يكون النقاش عن كل نوع من الادلة منصبا في موضع واحد .

التسرب الحراري : ان حجم التسرب الحراري في المحيط وعلى القارة واحد تقريبا والتسرب الحراري القاري هو ذلك المقدار المتوقع من كميات عناصر المواد المشعة المعروفة في القشرة القارية . بينما تعتبر القشرة المحيطية ارق ومعروف عنها

انها تحتوي على كميات أقل من عناصر المواد المشعة ، لهذا لا بد وأن يكون التسرب الحراري المحيطي قديما من الستار . وفي ذلك اشعار بأن القارات كانت قد تكونت من الستار الذي تحتها لانه لو كان الستار هو المصدر للتسرب الحراري تحت القارات لكان هذا التسرب أعلى مما هو عليه . وعلاوة على ذلك انه لو حصلت ازاحة لتوقع الواحد أن يجد مناطق اضطراب في الترتيب الموحد للتسرب الحراري ، أي أن التسرب الحراري قد يتضاعف حيث تغطي قارة محيطاسابقا . انه لا بد من الإشارة بجلاء الى قلة المعلومات عن التسرب الحراري ، لذلك يجب تعليق هذه الحجة لحين تجميع بيانات أكثر .

الزلازل الأرضية العميقة المركز : وتحدث هذه فقط بالقرب من اطراف القارات (انظر الفصل ١٦) مشيرة بذلك الى احتمال امتداد التراكيب القارية الى العمق في داخل الستار العلوي . ويصل عمق هذه الزلازل الى ٤٣٥ ميلا . انه من الصعب تصور حدوث ازاحة في كتلة يبلغ سمكها حوالي ٤٠٠ ميل . ومن ناحية أخرى فقد يكون سبب حدوث الزلازل العميقة وجود تيارات حمل ، وبهذا قد لا تكون دليلا على وجود تركيب عميق للقشرة على أية حال فان حدوثها فقط عند الاطراف القارية يعود امتداد القارة في العمق .

الترسبات المحيطية : اذا كانت افريقيا وامريكا الجنوبية متحدتين يوما ما فانه لا بد اذا ان يكون المحيط الاطلسي أحدث عمرا من بعض اجزاء المحيط الهادي على الاقل . غير أن سمك الرسوبيات في المحيط الاطلسي تبلغ ضعفي تلك الموجودة في المحيط الهادي . ومرة أخرى تدعو الحاجة الى الحصول على معلومات أكثر ، ولكن مع ذلك فان الدليل قوي على أن عمر المحيط الاطلسي يتساوى مع ذلك الخاص بالهادي أن لم يكن أقدم منه .

ملخص

ان الحجج المؤيدة والمعارضة ليست قاطعة . ويستطيع المرء الاختيار إما

بترجيح بعض البراهين القوية على الأخرى أو بالتفاضل عن بعضها ، أو هناك احتمال آخر وهو البقاء في حالة من الانفتاح على كل شيء حتى يمكن الحصول على معلومات أكثر . وعلى كلا الحالتين يعتبر الكثير من الأدلة استنتاجيا . فهل العديد من الدلائل المأخوذة بالاستنتاج يمكن تجميعها والوصول بها الى عمل نظرية منها أم هل نحن بحاجة لدليل قاطع ؟ كثيرين من محلفي المحاكم يواجهون مثل هذا القرار .

وكثير من الحجج بخصوص الازاحة القارية تتركز حول تحديد نظريات عن السبب في حدوث الحركات أو محاولة اعادة بنائها . وقد تمت مناقشة بعض الوسائل المحتملة في الفصل السابع عشر . وكثيرون هم الذين دخلوا في جدل ضد الازاحة لانه ليس هناك من نظرية معروفة ومقنعة تماما عن نشأتها . وكيفما كان ، فانه ليس هناك من نظرية مقنعة عن الزوابع الرعدية ايضا . ولكننا جميعا نؤمن بوجودها .

ولقد حددت بعض النماذج الاولى التي وضعت في الازاحة عمر الحركة على أنها حصلت بعد مدة طويلة من التاريخ الذي يثبت حصول الانتشار بين القارات بالاعتماد على الأدلة المستحاثية . وهذا أدى طبعا الى نزع الثقة من هذه الفكرة كليا . واحدى النظريات التي كانت قدمت سابقا في تعليل العصر الجليدي الحالي تعتمد على احد أمرين ، اما الازاحة أو التجوال القطبي وذلك من اجل حصول تغير في مسار التيارات المحيطية . وليس هناك من دليل فيما تقدم ذكره يدعم فكرة الحركة في ذلك الوقت . ولقد جمعت بعض النماذج بين الازاحة القارية وحركة أو تجوال اقطاب المحور . وبهذه الطريقة أمكن تفسير البيانات المغناطيسية وغيرها بشكل أفضل . ولقد قيل بأن تحليل البيانات بدقة يجعل إمكانية اعادة البناء بالاعتماد على الازاحة القارية وحدها أمرا محتملا أو بهزجها مع التجوال القطبي . ومهما كان فلا يكن عمل تصميم معقول بواسطة التجوال القطبي وحده . وفي ذلك إشارة الى كون التجوال القطبي قد لا يعتبر عملية مهمة .

وبإيجاز ، يمكن القول بأن الازاحة القارية هي احتمال حقيقي . وقد مكنت المعلومات الحديثة من التغلب على كثير من الاعتراضات السابقة وفي بعض منها دليل قوي على حصول الازاحة . ومع ذلك لا تزال هناك بعض الاعتراضات

تائمة . انها مشكلة مستمرة وسوف تقدم الأبحاث الجارية الكثير من الأجابات .
ولا يبدو انه سوف تثبت صحة أو فشل نظرية الأزاحة بشكل يرضي الجميع
في المستقبل القريب . ومن ناحية أخرى على المرء أن لا يغفل عن حقيقة أن معظم
النظريات الجيولوجية لا يمكن البرهنة عليها بشكل مطلق أيضا .

أسئلة

- ١٨ — ١ : ماهي مكونات المجال المغناطيسي الأرضي ؟
- ١٨ — ٢ : ماهي التغيرات التي طرأت على المجال المغناطيسي الأرضي ؟
- ١٨ — ٣ : بين كيف يمكن أن يكون المجال المغناطيسي الأرضي قد نشأ ؟
- ١٨ — ٤ : كيف توجد المغناطيسية المتبقية في الصخور ؟
- ١٨ — ٥ : أي المعلومات يمكن الحصول عليها عن الموقع القديم لقارة ما بواسطة المغناطيسية المتبقية ؟
- ١٨ — ٦ : كيف تؤيد المغناطيسية المتبقية نظرية توسع قاع المحيط ؟
- ١٨ — ٧ : ما هو الدليل على أن القارات الجنوبية كانت متحدة يوماً ما ؟
- ١٨ — ٨ : ما الذي يحمل المرء على الاعتقاد بأن ازاحة فقط كانت قد حدثت (علاوة على ذلك ترينا بأن القارات كانت يوماً ما متحدة) ؟
- ١٨ — ٩ : ما هو أقوى دليل باعتقادك تقدمه لصالح الازاحة القارية ؟ وأي دليل تقدمه ضدها ؟
- ١٨ — ١٠ : ناقش فيما إذا كانت جميع خيوط الأدلة التي تؤيد الازاحة القارية يمكن اعتبارها كبرهان ، أو أنه يجب أخذ كل جزء من البرهان على حدة وتقييمه بمفرده ومن ثم الإبقاء عليه أو إسقاطه .

مراجع اضافية

- Abelson, P. H., "Chemical Events on the Primitive Earth," *Proceedings of the National Academy of Sciences* (June, 1966), Vol. 55, No. 6, pp. 1365-1372.
- Barghoorn, E. S., "Origin of Life," in *Treatise on Marine Ecology and Paleocology*, Part 2 (H. S. Ladd, ed.), pp. 75-86, Geological Society of America, Memoir 67, 1957. This paper reprinted in J. F. White, ed., *Study of the Earth*, pp. 335-347, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1962 (paperback).
- Barghoorn, E. S., "The Oldest Fossils," *Scientific American* (May, 1971), Vol. 224, No. 5, pp. 30-42.
- Calvin, Melvin, "Chemical Evolution," *American Scientist* (March-April, 1975), Vol. 63, No. 2, pp. 169-177.
- Cloud, Preston, "Evolution of Ecosystems," *American Scientist* (January-February, 1974), Vol. 62, No. 1, pp. 54-66.
- Cloud, Preston, James Wright, and Lynn Glover, III, "Traces of Animal Life from 620-million-year-old Rocks in North Carolina," *American Scientist* (July-August, 1976), Vol. 64, No. 4, pp. 396-406.
- Engel, A. E. J., "Geologic Evolution of North America," *Science* (April 12, 1963), Vol. 140, No. 3563, pp. 143-152.
- Engel, A. E. J., "The Barberton Mountain Land: Clues to the Differentiation of the Earth," Economic Geology Research Unit, University of the Witwatersrand, Information Circular No. 27, 1966. Revised, 1969. This paper reprinted in Preston Cloud, ed., *Adventures in Earth History*, pp. 431-445, San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1970 (paperback).
- Glaessner, M. F., "Pre-Cambrian Animals," *Scientific American* (March, 1961), Vol. 204, No. 3, pp. 72-78. Reprint 837, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Hargraves, R. B., "Precambrian Geologic History," *Science* (July 30, 1976), Vol. 193, No. 4251, pp. 363-371.
- Harland, W. B., and M. J. S. Rudwick, "The Infra-Cambrian Ice Age," *Scientific American* (August, 1964), Vol. 211, No. 2, pp. 28-36.
- Keosian, John, *The Origin of Life*, New York: Reinhold Publishing Corp., 1964, 118 pp. (paperback).
- King, P. B., *Precambrian Geology of the United States: An Explanatory Text to Accompany the Geologic Map of the United States*, U.S. Geological Survey Professional Paper 902, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1977, 85 pp.

الجزء الرابع تاريخ الارض

Earth History

الجيولوجيا علم تاريخي . هذه الحقيقة هي مدار بحث الجزء الرابع . ولقد شرحت فرضية الزمن الجيولوجي وقياساته ، والتي تعتبر من اهم المظاهر الجيولوجية في الفصل التاسع عشر . فاصل وبداية تاريخ الارض ما هي الا دراسات فلكية قد بحثت في الفصل العشرين . ويرى الفصل الحادي والعشرون مثلاً على تفسير التاريخ الجيولوجي عن الاردن . ان اهم الطرق التي يتبعها الجيولوجيون في تاريخ الصخور تعتمد على محتواها المستحاثي . ويتطور هذه الطريقة ، فلقد امكن لعلم الجيولوجيا تزويد علم البيولوجيا بتاريخ وتطور النباتات والحيوانات ، والذي عولج ايضا في الفصل الثاني والعشرين .

الفصل التاسع عشر مبادئ الجيولوجيا التاريخية

Principles of Historical Geology

الزمن الجيولوجي
عدم التوافق
مضاهاة وتأريخ الصخور
التأريخ بالنشاط الإشعاعي
درجات الحرارة القديمة .
أسئلة
مراجع اضافية

حيوان ثديي كالخنزير ، في العصر الجليدي ، عاش في ولاية Kentucky
قبل حوالي ٣٠٠٠٠ سنة . التضييب مدرج بالبوصات . المساحة الجيولوجية
الامريكية .

19



الزمن الجيولوجي

Geologic time

تعد معرفتنا بأن الزمن الجيولوجي شاسع وتطويرنا طرقا لتقسيمه من اعظم المنجزات الفكرية للانسان . ومن الصعب سرد تطور الاراء حول العموميات ولكننا سنعرضها هنا بصورة موجزة . فالاكتشافات التي تحققت مع نهاية القرن الثامن عشر هي التي اثمرت عن تقدم سريع وان تكن قد سبقتها دراسات اولية . وانتهت هذه الاكتشافات بظهور نظرية النسقية (١) التي نشرها العالم الانجليزي جيمس هاتون ما بين عامي ١٧٨٥ و ١٧٩٥ . وتعني هذه النظرية ببساطة أن الحاضر هو مفتاح الماضي أي أن تاريخ الصخور القديمة يمكن تفسيره بملاحظة كيفية تكون صخور مماثلة لها في وقتنا الحاضر . وقد كان كتاب هاتون ضعيفا في أسلوبه ، ولذا فنظريته لم تحظ بقبول واسع الى أن أعاد نشرها زميله بلايير في عام ١٨٠٢ . والنسقية فكرة بسيطة لكنها المفتاح الصلب للجيولوجيا المعاصرة . وتتضح قوة هذه النظرية بمثال بسيط . فمباشرة انواع من الحيوانات الحاملة للاصداف في الطين على طول الشاطئ في وقت الجزر ، يغسر العثور على اصداف مشابهة في صخر طيني في جدار واد عميق حسب النسقية على أن ذلك السوادي كان سابقا قاع بحر ثم تصلب وارتفع . فاذا بدت هذه فكرة بدائية للغاية فلننذكر انه قبل زمن هاتون بسنوات كان قلة من الناس فقط يعرفون أن اصداف المستحاثات دليل على وجود حياة عضوية .

والنسقية كما تقدم وصفها تنتقد حاليا لبساطتها الزائدة . ويتركز الانتقاد

في أن العمليات الجيولوجية قد طورت سطح الأرض ، ومن ثم فعلى الاتساع في بعض الحالات ، فإن هذه العمليات لا تعمل حالياً بنفس الطرق التي عملت بها في الماضي . وهكذا فالحاضر قد لا يكون مفتاحاً للماضي . فإذا تطورت القارات ونمت على سبيل المثال أثناء الزمن الجيولوجي حسب دورة المقصدرات الجيولوجية (٢) ، فكيف تكون أول مقعر جيولوجي ؟ ومن المشاكل الأخرى أننا نفتقد الأمثلة الواضحة على أية مقمرات جيولوجية معاصرة . وسيعالج الفصل (٢٢) أصل الحياة وسوف نرى أنها قد غيرت تركيب الغلاف الجوي مما أدى إلى استحالة خلق حياة أخرى . وهكذا فبالرغم من أن فكرة النسقية بشكلها المبسط يمكنها توضيح العديد من الظواهر الجيولوجية فإن هناك قيوداً لا بد من أن تؤخذ في الحسبان .

ويعتمد التاريخ الجيولوجي إلى حد كبير على دراسة الصخور الرسوبية ومحتوياتها من المستحاثات . وقد أدت هذه الدراسات إلى تطوير مقياس للزمن الجيولوجي يتضمن الأعمار النسبية للصخور . وفي السنوات الأخيرة وباستخدام قياسات التحلل الإشعاعي (٣) لبعض عناصر في الصخور أصبح بالإمكان تعيين الأعمار المطلقة لبعض الصخور . وهكذا فإن تأريخ الصخور التاريخية والمتحولة (٤) قد وسع مجال الجيولوجيا التاريخية .

تبعاً عدة محاولات غير ناجحة تطورت الجيولوجيا التاريخية في الجزء الأخير من القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر . وقد بيّن الكيميائي الفرنسي العظيم لافوازييه عام ١٧٨٢ أن كل محاجر الخزف والصلصال المحفورة بالقرب من باريس تظهر فيها سلسلة واحدة متتابعة من الصخور الرسوبية . ثم نشر كل من جورج كوفير واليكساندر برونجنيرت في عامي ١٨١٠ و ١٨٢٢ خرائط موضحاً عليها توزيع الأنواع المختلفة للصخور حول مدينة باريس ، كما نشر ويليام سميث في عام ١٨١٥ خريطة جيولوجية ل إنجلترا . وقد درس كوفير برونجنيرت — المستحاثات في كل الطبقات الرسوبية التي صورها وكذلك فعل سميث ، وقد اكتشفا أن كل طبقة تضم مجموعة مختلفة من المستحاثات . وتوصلا إلى أن بالإمكان تحديد أي طبقة رسوبية من مستحاثاتها . وكان هذا فاتحة عهد دام عشرين سنة أخرى تطور في خلالها مقياس الزمن

2. Geosynclinal Cycle

4. Igneous and Metamorphic Rocks

3. Radioactive Decay

الجيولوجي .

كان مقياس الزمن او السلم الجيولوجي حصيلة أبحاث فردية قام بها عدد من المشتغلين في غرب أوروبا . فقد درس هؤلاء الرجال الصخور ومستحاثاتها في أماكن مكشوفة ، بالقرب من بيوتهم ووصفوا هذه الصخور ومستحاثاتها في كتب ونشرات . وقد اطلقوا على هذه التتابعات (هـ) الصخرية اسم أنظمة (٦) واعطوا اسماء لكل واحد من الأنظمة . وبتقدم الدراسات بهذه الطريقة العشوائية أمكن معرفة التتابع العام من الاقدم الى الاحداث وتم ملء الفراغات فيه . وتبين

العمر التقريبي بملايين السنين (تاريخ اشعاعي)	دقب	المرحلة والنظام	
		تتبع المرحلة الى مدة زمنية ويشير النظام الى الصخور التي ترسبت خلال تلك الفترة	
7 26 37-38 53-54 65	حقب الحياة الحديثة	Recent (Holocene) Pleistocene Tertiary Pliocene Miocene Oligocene Eocene Paleocene	حديث (هولوسين) بلايستوسين ثلاثي ثدييات طيور أسماك
136 190-195 225	حقب الحياة المتوسطة	Cretaceous Jurassic Triassic	كريتاسي جوراسي ترياسي
280 310 345 395 430-440 500	حقب الحياة القديمة	Permian Carboniferous Devonian Silurian Ordovician Cambrian	برمي كربوني ديفوني سيلوري اوردوفيشي كمبري
570 700 3,400 4,000 4,500	بريكامبري	أول الكائنات متعددة الخلايا أول الكائنات وحيدة الخلية العمر التقريبي لأول صخر مكتشف المسح التقريبي للنيازك	

الشكل (١٩ - ١) مقياس الزمن الجيولوجي . على اليمين تخطيط مبسط يري تطور الحياة . لا يشتمل التخطيط على العديد من اصناف المستحاثات اللافقارية كالمحاريات ، والمرجانيات ، والاسفنجيات ، والوقاقع ... الخ والتي ظهرت لأول مرة إما في الكمبري أو في الاوردوفيشي والتي استمرت حتى الوقت الحاضر . ان تطور الحياة موضوع الفصل الثاني والعشرين

أيضا أن الصخور التي لها مواضع طبقية متشابهة ، وإن تكن قد تقع بعيدا عن منطقتها النموذجية ^(٧) ، تحتوي على نفس المستحاثات أو على مستحاثات شديدة الشبه بها . وهكذا فقد أدى اشتغال أناس عديدين منتشرين في مساحة شاسعة اثبات أن المستحاثات يمكن استعمالها في تأريخ الصخور وليس في مناطق محلية فقط ، بل في كل أنحاء أوروبا . وبهذه الطريقة ، فقد تطور سلم جيولوجي أو مقياس للزمن يستعمل مرجعا معياريا يمكن بالنسبة إليه مضاهاة مستحاثات من مناطق أخرى أو تأريخها بمقارنتها بالمستحاثات التي اقيم عليها المقياس الزمني .

ويبين شكل (١٩-١) المقياس الزمني الجيولوجي المتداول .

فالانظمة هي الصخور التي ترسبت خلال فترة زمنية تسمى مرحلة ^(٨) فالنظام الكبير ^(٩) مثلا قد ترسب في المرحلة الكبيرة . وفي الغالب فإن جميع الانظمة أو المراحل قد تم تحديدها في الاصل في النصف الاول من القرن التاسع عشر .

فالسلم الجيولوجي قد اعطى فقط مقياسا نسبيا للزمن يكسب أن تنسب الصخور اليه . أما تحديد الزمن المطلق ^(١٠) للصخور فكان مسألة أعظم . كان علماء الدين في ذلك الوقت يقدرون عمر الأرض بحوالي ٦٠٠٠ سنة بناء على تفسيرهم للعهد القديم . غير أن الجيولوجيين وبعض الفيزيائيين كانوا يميلون الى تقدير عمر الأرض بعشرة أمثال ذلك . ولقد شعر الجيولوجيون أن هذا الزمن الكبير هو اقل ما يلزم لترسيب التناوعات السمكية من الطبقات الرسوبية . واعتقد الفيزيائيون أن الأرض قد تكونت على هيئة جسم منصهر وأن تبريدها قد استغرق مثل هذا الزمن حتى وصلت الى درجات الحرارة الحالية . وقد فسرت التغيرات في حياة المستحاثات خلال السلم الجيولوجي بطريقتين .

اعتقد الكثير من الجيولوجيين بأن الحياة كانت تتعرض لكوارث تقضي على جميع صورها ثم يلي ذلك خلق جديد للحيوانات التي نجدها كمستحاثات في الطبقة التالية . ويرد أصل هذه الفكرة الى قصة طوفان النبي نوح وإلى نظرية فيرنر الالماني الواسعة الانتشار . عاش فيرنر في اواخر القرن السابع عشر وكان يعتقد بأن جميع صخور سطح الأرض بما فيها الصخور النارية قد ترسبت في بحر عام ، وكان آخرون يعتقدون أن الحياة قد تطورت ببطء شديد ومن ثم فقد كانوا يميلون للاعتقاد بأن عمر الأرض قديم جدا . وقد تفوقت نظرية النسقية تدريجيا على

7. Type Area

9. Cambrian Systems

8. Period

10. Absolute Age.

النظريات المعارضة وبها فقد أخذ ببدء قدم الأرض والتطور التدريجي للحياة . ولم يكتب هذا النصر نهائيا الا بعد زمن يسير من نشر دارون في عام ١٨٥٩ للبراهين على التطور البطيء والتدريجي للحياة . ولقد كان لدارون التأثير الواضح على تطور المفهوم الجيولوجي . لكن نظريته احتاجت ايضا الى الفترة الطويلة من الزمن الجيولوجي التي تصورها النسقيون .

وتزايد عدد المؤيدين لفكرة قدم عمر الأرض بالقرب من نهاية القرن التاسع عشر ، ولكن أطول تقديراتهم كان أقصر مما ينبغي بخمسين مرة . وقد أعاد كلفن حساب عمرها معتمدا على تبريد الأرض وقدره بأقل من مائة ملبسون سنة وعلى الاغلب ما بين (٢٠ الى ٤٠) مليون سنة . أما جولي فقد حسب العمر سنة ١٨٩٩ وقدره بـ ٩٠ مليون سنة وذلك بتقسيم كمية الملح الكلية في المحيط على كمية الملح المحمولة اليه سنويا بالانهار . وقد اجريت عدة تقديرات اعتمدت على السمك الكلي للصخور الرسوبية الموجودة مضافا اليها سمك اسمك مقطع (١١) معروف لكل نظام . وتم تقسيم السمك الكلي على سرعة التجمع التقديرية ، وباستخدام هذه الطريقة ما بين عامي ١٩٠٠ و ١٩٣٠ تم حساب الاعمار ما بين (٢٦ و ١٠٠) مليون سنة . الا ان العديد من الجيولوجيين اعتبر ان عمر الأرض اكبر من هذا التقدير ثم ان اكتشافا جديدا قد بين ضخامة عمر الأرض .

فقد اكتشف بيكوريل في عام ١٨٩٦ النشاط الاشعاعي (١٢) . وبين رذرفورد وسودي في عام ١٩٠٢ انه يمكن لعنصر ما ان يتغير جزئيا الى عنصر آخر بالتحلل الاشعاعي . فحدث ذلك حدى مشابه لدعوى الكيميائيين القدامى الذين كاسوا يحاولون تغيير الرصاص الى ذهب فلم يتقبله على الفور العديد من العلماء . وعلى كل حال فقد لاحظ بولتود في عام ١٩٠٥ اقتران الرصاص واليورانيوم في معادن اليورانيوم وان نسبة الرصاص الى اليورانيوم كانت أعلى في المعادن القديمة . واستخدم بولتود هذه المعلومات لحساب عمر هذه المعادن وتبين ان عمر احدها يفوق البليونين عاما . وهذا زاد كثيرا في عمر الأرض ولاقى قبولا سريعا من قبل بعض الجيولوجيين . فالطرق الحديثة للتأريخ بالاشعاع الذري ترى ان عمر الأرض قد يصل الى حوالي (٢٥) بليون عاما . وسيرد شرح هذه الطرق فيما بعد ضمن هذا الفصل .



الشكل (١٩ - ٣) : عدم التوافقات .

- (أ) - سطح عدم توافق زاوي في وادي الكانيون بولاية كولورادو . فالصخور التي تقع تحت
تحت هذا السطح تتبع الحقبة البريكامبرية ، أما التي تعلوها فهي من عصر الكامبري .
(الصورة من L. F. Noble ، دائرة المسح الجيولوجي الامريكية) .
- (ب) - سطح عدم توافق حتي في الصخور السيليفيرية في مضيق نياجرا بنيويورك .
(الصورة من G. K. Gilbert ، دائرة المسح الجيولوجي الامريكية) .



الشكل (١٩ - ٤) : يري تطور سطح عدم التوافق . لا يوجد فترة زمنية مسجلة في كل حالة في الصخور المتطابقة . من الصعب عموما التمييز بين الحالات (٢) ، (٣) . ففي كل حالة ، وللتبسيط ، افترض أن مستوى سطح البحر كان القاعدة المتحركة سواء حصل فيها تجوية أو ترسيب .

تمثل زمن التحول ، فإن هذا يعتبر نوعا من عدم التوافق (١٤) . وفي هذه الحالة فإذا ما تكونت الصخور المتحولة على عمق معقول من القشرة الأرضية ، كما هي الحالة بصورة عامة ، فإن مرحلة التعرية (١٥) التي تكشفت فيها الصخور المتحولة قبل بدء ترسيب الرواسب هي أيضا مفقودة من السجل الرسوبي . وهناك نوعا آخر من عدم التوافق يمكن أن يتألف من تغير المستحاثات المثلثة لمرحلة زمنية ، قصيرة أم طويلة ، تقع بين طبقتين في المقطع الرسوبي . لعدم توافق كهذا يمكن أن يكون ناتجا إما من تعرية طبقات مترسبة سابقا أو لعدم

ترسبها ، وهذه قد لا تظهر ما لم تدرس مستحاثاتها . أما النوع الثالث من عدم التوافق فهو أكثر وضوحا ويتألف من صخور رسوبية مطوية (١٦) وممرأة ومغطاة بصخور رسوبية أخرى . ويسمى مثل هذا النوع من عدم التوافق بعدم التوافق الزاوي (١٧) لان التطبيق (١٨) لمجموعتي الصخور الرسوبية غير متوازية . وفي هذه الحالة فان زمن الطي والتعرية لا تمثل بصخور رسوبية .

مضاهاة وتأريخ الصخور

Correlation and dating of rocks

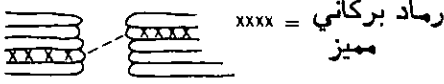
حتى الان ما زلنا نطالع الكيفية التي كانت بها تعرف الانظمة الجيولوجية ، وواضح انها تحدد في المناطق غير المدروسة بمضاهاة محتواها من المستحاثات مع مستحاثات سبق وصفها في مناطق نموذجية . وبهذه الطريقة فان الانظمة الجي و صفت في أوروبا تم التعرف عليها في أمريكا الشمالية وفي القارات الاخرى . وهذا النوع من المضاهاة بالمستحاثات في غاية الاهمية في اقامة التعادل بين الطبقات المتجاورة . وتتضمن الطرق الاخرى في مضاهاة الطبقات المتجاورة تتبع الطبقات فعليا من منطقة الى أخرى بالسير عليها . وفي حالات أخرى فان مواد مميزة في طبقة ما كقطع من صخر غير عادي أو من معدن مميز أو غير شائع أو من مجموعة من المعادن يمكن استعمالها لوصف طبقة ما . وهناك طريقة أخرى يستخدم فيها التتابع الطبقي (الشكل (٩ - ٥)) .

لاحظ ان طرق المضاهاة باستثناء استعمال المستحاثات تقـوم فقط على استمرارية طبقة رسوبية ما . أما المستحاثات فتثبت حقيقة أن كلا الطبقتين من ذوات العمر الواحد . فالاختلاف بين هذين النوعين من المضاهاة يمكن تصوره لو اخذنا في الاعتبار بحرا ما في حالة اتساعه وهذا امر ليس مستهجنا في التأريخ الجيولوجي . فحالما يتقدم البحر فان رمال الشاطئ مثلا تكون طبقة مستمرة

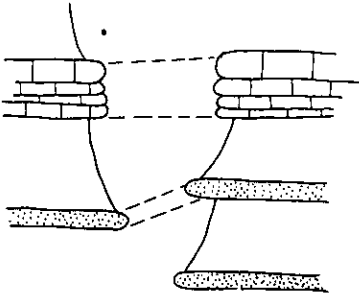


الشكل (١٩ - ٥) : يري انواع المضاهاة .

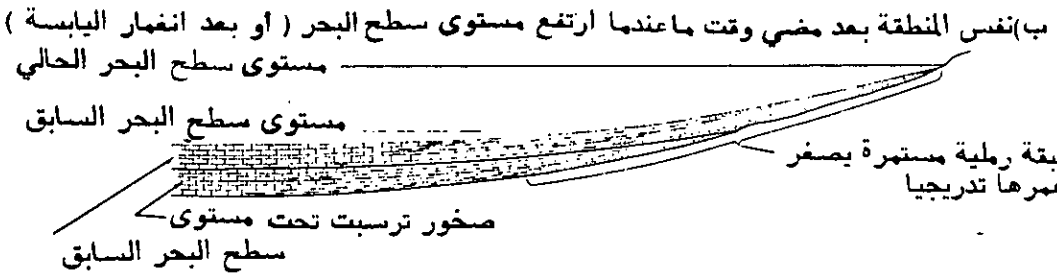
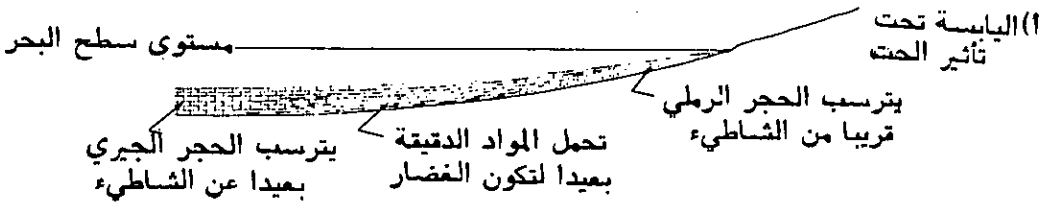
(١) - المضاهاة بالمستحاثات .



(ب) - المضاهاة بواسطة المتتابع الطبقي .
لاحظ التغير في السماكة في المنطقتين .

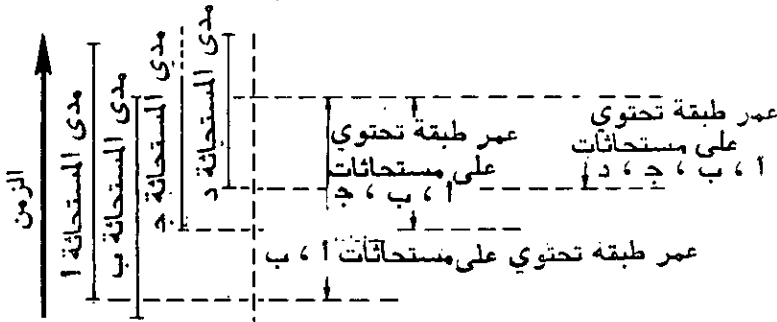


(ج) - المضاهاة بالاشباه الصخرية (الابنولجي) . ويظهر فيه اهمية استخدام الطبقة المرشدة أو الدالة ، وهي طبقة يسهل معرفتها من الطبقات الاخرى .



الشكل (١٩ - ٦) : يري الترسيب اما عن طريق ارتفاع سطح البحر أو باتساعه .
(١) - الترسيب عند البداية . (ب) - الترسيب بعد ارتفاع سطح البحر بفترة وجيزة .

هي دائما احدث عمرا وهذا ما يتضح في الشكل المرسوم (١٩-٦) .
ويصور هذا الرسم صعوبة اخرى في استعمال المستحاثات . لاحظ ان الحجر الجيري والفضار (١٩) والحجر الرملي كلها قد ترسبت في نفس الوقت في اجزاء مختلفة من الحوض ، فكل من هذه البيئات المختلفة ستجذب وستكون مساوي لانواع مختلفة من الكائنات . وهكذا فستكون المستحاثات الموجودة في كل من هذه البيئات مختلفة حتى ولو انها كانت من نفس العمر . وهذا يعني ان البيئة لا بد وان تؤخذ بعين الاعتبار في اثبات اهمية مستحاثات ما او مجموعة من المستحاثات عند تعيين العمر . ولهذا السبب ، فان الحيوانات السابحة الحرة تعتبر من افضل المستحاثات لان بقاياها توجد في جميع البيئات . فمستحاثات هذا النوع مفيدة جدا وقد سميت بالمستحاثات المرشدة (٢٠) اذا ما اثبتت بوضوح عمر الصخر الذي يحتويها . ففي الوضع المثالي فان اي مستحاث مرشدة لا بد وان تكون واسعة الانتشار في جميع البيئات ووفيرة (٢١) وذات مدى زمني قصير . وقليل من المستحاثات تحقق جميع هذه المتطلبات ، وعموما ، فان مجموعات من المستحاثات تستخدم لاثبات عمر طبقة ما (الاشكال (١٩-٧) و (١٩-٨) .



الشكل (١٩ - ٧) : يري مجالات استخدام المستحاثات المتجاوزة في تاريخ الصخور بدقة اكثر مما يمكن انجازه باستخدام مستحاثات واحدة .

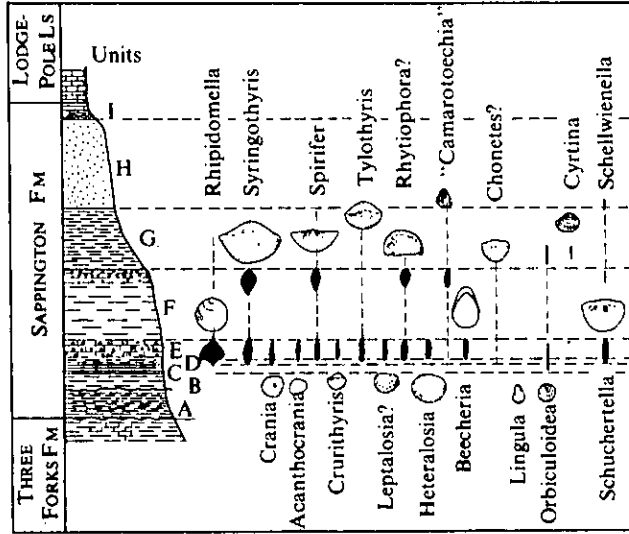
وفي بعض حالات نادرة يمكن اقامة خطوط زمنية (٢٢) او اسطح في الصخور الرسوبية بوسائل فيزيائية وحدها . فعلى سبيل المثال يمكن نشر طبقة رقيقة من رماد بركان ما بواسطة الرياح فوق منطقة كبيرة جدا . وربما يستغرق ترسيب طبقة من رماد كهذه عدة ايام او حتى اسابيع لكن ذلك يكون لحظيا

19. Shale

21. Abundant

20. Index Fossils

22. Time-lines



الشكل (١٩ - ٨) : مثال على توزيع مسرجيات في تكون سابنجتون في غرب مونتانا . لقد أشير الى العدد النسبي لكل مستحاثة وجدت في الطبقات بخطوط سوداء واضحة . ان تواجد هذه المستحاثات كان جزئيا مقيدا وعلى الاقل بالبيئة الرسوبية .

(المصدرة من : R. C. Gutschick and Joaquin Rodriquez, American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, Vol. 51, 1967.

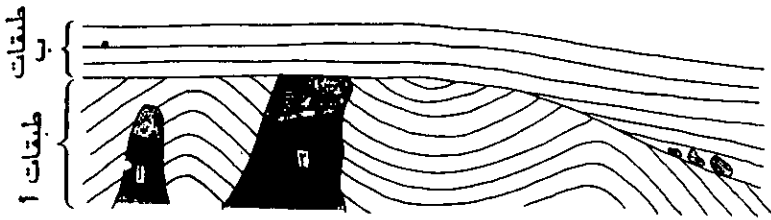
بمدلولات الزمن الجيولوجي . فهذه الحالات النادرة تساعد في حل مشاكل المضاهاة المحلية وتبين صحة طرق التاريخ والمضاهاة التي وصفت هنا .

والصخور الرسوبية البحرية هي الصخور الوحيدة التي تحتسوي على مستحاثات وفيرة ، وليست كل هذه تحتوي على مستحاثات تكفي لتقرير عمرها بوضوح . ولقد شرحنا على الصفحات السابقة عملية تأريخ الصخور المستحاثية البحرية . ويمكن استعمال طرق فنية مشابهة لتأريخ الرواسب القارية لكن عدد من المستحاثات هنا عموما اقل كثيرا . ويمكن تفهم هذه الحقيقة بسهولة اذا ما قارنا عدد الحيوانات السهلة الاستحاثاة التي تتكشف على شاطئ البحر عند الجزر مع العدد لقليل من الحيوانات التي تعيش في منطقة مماثلة لها في الحجم في غابة او على ارض عشبية ، وكذلك اذا اخذنا في الاعتبار مقدار سهولة دفن وحفظ صدفة المحار (١٢) ، وخاصة اذا ما قورنت بإمكانية دفن وحفظ ورقة نبات او هيكل عظمي بصورة مستحاثاة . اذربما لا يحفظ الكائن الارضي (الذي يعيش على الارض) اذا ما دفن لان عوامل الاكسدة التي تقضي على المادة العضوية

توجد حتى على بعض العمق . فأي أرنب يموت معرض أيضا لان يؤكل أو يتجزأ بواسطة الحيوانات المفترسة . وهناك مشكلة أخرى في استخدام المستحاثات القارية ذلك انها متقيدة دوما بالمناخ اكثر من الكائنات البحرية . وستوضح هذه الحقيقة بمتابعة تطور الانواع الحية من النبات والحيوان اثناء تسلق جبل ما .

وتأريخ الصخور النارية والمتحولة يضم مشاكل اكثر لكونها لا تحتوي في الغالب على مستحاثات أبدا . ولا بد من تأريخها بعلاقاتها مع الصخور الحاملة للمستحاثات . فتؤرخ الصخور البركانية بالصخور المستحاثية التي تقع فوقها وتحتها ، وفي بعض الحالات ، من تداخل الصخور الرسوبية بينها . فالصخور المتداخلة يجب أن تكون احدث من تلك الصخور التي تتداخل فيها ، ولا يمكن تأريخها بدقة ما لم تكن الصخور المتداخلة قد كشفت بالتجوية ، وتغطت بصخور أحدث منها لا تتوافق معها (الشكل (١٩ - ٩)) .

ويعتبر تأريخ الصخور المتحولة أكثر صعوبة لانه لا بد من الحصول على كسل من عمر الصخر الاصلي ووقت التحول . فيمكن ايجاد عمر الصخر الاصلي بتتبع الصخر المتحول الى مكان ما تحفظ فيه المستحاثات . وقد يكون ايجاد زمن التحول أكثر صعوبة ، وبصورة عامة ، فان غطاء أي عدم توافق ، اذا وجد ، يعطي عمر حده الاعلى فقط .



الشكل (١٩ - ٩) : تأريخ الصخور المتداخلة : الجسم المتداخل (١) أحدث عمرا من الطبقات (٢) ، حيث لم يمكن تحديد حد أعلى للجسم المتداخل و (٢) أحدث عمرا من الطبقات (١) واقدم من الطبقات (ب) . من الممكن إجراء تأريخ تقريبي اذا احتسوى الكونجولوميرات المكونة من الحصى (٢) على مستحاثات في الحوض الواقع على اليمين .

Radioactive Dating

التأريخ بالنشاط الإشعاعي

يمكن التغلب على بعض من هذه المشاكل في تأريخ الصخور النارية والمتحولة بطرق النشاط الإشعاعي الحديثة . وتعطي طرق كهذه عمرا مطلقا بالسنوات

ومن ثم فقد استخدمت ، ايضا ، لتأريخ مقياس الزمن الجيولوجي بالسنوات . وبالرغم من الدقة الظاهرية للتأريخ بالنشاط الاشعاعي فانه من غير الممكن حتى الان تأريخ صخر ما بدقة بهذه الطريقة كما هو الحال بالمستحاثات . ويرجع سبب ذلك الى عدم الدقة الملازمة لقياسات كميات العناصر الناتجة عن الانحلال الاشعاعي . وتؤدي هذه القياسات غير الدقيقة الى تفاوت في تأريخ النشاط الاشعاعي اكبر من مدى النطاقات (٢٤) التي بنيت اعتمادا على المستحاثات ، وخاصة في تلك الاجزاء من السلم الجيولوجي التي تحتوي على وفرة مسن مستحاثات قصيرة الحياة . وكلما تحسنت طرق التحليل ، فانه يمكن التغلب على هذه القيود وربما تقلصت ايضا التكاليف الباهظة في التأريخ .

ويمكن الحصول على ازمدة النشاط الاشعاعي بدراسة نويات العناصر الناتجة عن التحلل الاشعاعي لعنصر ما في معدن . ولقد شرحت مبادئ النشاط الاشعاعي في الفصل الثاني . ويدرس في اغلب الاحيان اكثر من عنصر واحد في محاولة لمراجعة احتياطية على الدقة . ويشير تأريخ أي نشاط اشعاعي الى زمن تكوين ذلك المعدن ومن ثم الى زمن بلورة اي صخر ناري ، او الى زمن اعادة التبلور التحولي (٢٥) في حالة اي صخر متحول . ففي بعض الحالات المفيدة ، التي تري فيها الدراسات المجهرية أن المعادن المختلفة تكونت في ازمدة مختلفة في صخر ما تعرض لاكثر من مرحلة واحدة من التحول ، فمن الممكن بالتالي تأريخ مراحل التحول بتأريخ العناصر في المعادن المتكونة خلال كل مرحلة تحول . ويكون الغاز احد النواتج في كثير من طرق التحلل الاشعاعي ، فتطرده حرارة التحول ، وبذا تتغير ساعة النشاط الاشعاعي لتعطي زمن التحول .

ويتغير اي عنصر مشع ما الى عنصر اخر عن طريق قذف تلقائي للطاقة . ولا تتأثر سرعة هذا التحلل بالحرارة أو الضغط ، ومن ثم ، فاذا عرفنا سرعة تكون نويات النواتج ، فان كل ما نحتاج لايجاده هو نسبة العنصر الاصلي الى النوية الناتجة لكي نتمكن من حساب زمن تبلور المعدن المحتوي على العنصر المشع الاصلي . وبالتالي فان الافتراضات الاساسية ، في استخدام التواريخ الاشعاعية (٢٦) هي أن سرعة التحلل معروفة وثابتة ومن ثم فليس هناك ضياع

الجدول (١٩ - ١) : الطرق الفيزيائية لتحديد المعسكر • وصف بعض من هذه الطرق، في الفصل الثاني • المصدر حسب E. J. Zeller الطريق الحديثة
في قلمس الزمن الجيولوجي، من: Mineral Information Service, California Division of Mines and Geology, January, 1965, Vol. 18, No. 1, pp. 9-15.

الطريقة	نوع العينة المستخدمة	الوسيط المستخدم	المجال والذمة	ملاحظات
نتائج طرق النظائر أو النشاط الإشعاعي				
يورانيوم - رصاص	زيركون • زينونام • ومادن أخرى نارية ومتحولة مع يورانيوم أصلي • لكن بدون رصاص أصلي •	يورانيوم ورصاص بالتحليل والفا تحسب بوحدة الكتلة وحدة الزمن •	من ١٠ مليون إلى ٢ - ٤ بليون سنة • ليست بقتية التحليل بالنظائر •	يجب أن لا يكون هناك شياخ اليورانيوم أثناء حياة المعدن وكذلك عدم وجود رصاص حقيقي في المعدن عند زمن التبلور •
يورانيوم ٢٣٨ - رصاصي ٢٠٦	أي معدن ناري أو متحول أو الصخر الكلي مع يورانيوم ٢٣٨ أصلي (خاصة : يورانيات ، تشيلد ، مسر - سكايت ، سرتولايت ، ثوريانيت ، زيرك - ون وثوريت) •	مقايير من يورانيوم ٢٣٨ ، رصاصي ٢٠٦ • ورصاصي ٢٠٤ بواسطة تحليل جهاز الطيف الكتلي • يملأ الرصاص ٢٠٤ إشارة عن كمية الرصاص الأصلي ، الموجودة من جميع النظائر •	من ١٠ مليون إلى ١٠ بليون سنة تقريبا • أكثر دقة من طريقة يورانيوم - رصاص الكيميائية •	أن اليورانيوم ٢٣٨ اكسمر انتشارا من اليورانيوم ٢٣٥ وبالتالي تكون فرص الخطأ الناجمة عن التحليل أقل كثيرا • ونصف عمر الرادون ٢٢٢ طويل (٣٨٢ سنة اليوم) وهذا يوحى بوجود خطأ مسبب عن تسرب الرادون

الملاحظات	الجال والدقة	الوسيلة المستخدمة	نوع المادة المستخدمة	الطريقة
نتاج النظائر أو النشاط الإشعاعي (تكلمة)				
أن الرادون ٢١٩ الذي يهرب والموجود في سلسلة ذات نصف حياة قصيرة (٢٢٩ ثالثة) أقل كثيرا من سلسلة يورانيوم ٢٣٨ - رصاص ٢٠٦ .	من ١٠ مليون الى عدفلايين سنة . أكثر دقة من طريقة يورانيوم - رصاص الكيائية	مقايير من يورانيوم ٢٣٥ ، رصاص ٢٠٧ ، ورصاص ٢٠٤ بواسطة تحاليل جهاز الطيف الكتلي . يعطي الرصاص ٢٠٤ اشارة عن كمية الرصاص الاصلسي لجميع النظائر الموجودة .	اي معدن ناري أو مختزل أو الصخر الكلي مع يورانيوم ٢٣٥ (نفس المعادن المذكورة اعلاه) .	يورانيوم ٢٣٥ - رصاص ٢٠٧
يمكن أن ينتقل الرصاص ٢٠٨ اختاريا من معادن الثوريوم مؤديا الى ظهور اعمصار منخفضة جدا .	من ١٠ مليون الى عدة بلايين سنة . تبلغ الدقة ١٠٪ .	الثوريوم ٢٣٢ ، رصاص ٢٠٨ بواسطة تحاليل الطيف الكتلي .	المعادن الاضافية في الصخور النارية	ثوريوم ٢٣٢ - رصاص ٢٠٨
تكون النائدة في الحصول على نسبة نظيرية بدلامن القياس المطلق :	من ١٠ مليون الى عدفلايين سنة (١٪ على ١٠٠ مليون سنة) . (يمكن حساب الاعمار الحديثة بدقة ١ مليون سنة) .	رصاص ٢٠٦ ، رصاص ٢٠٧ ، رصاص ٢٠٨ ، ورصاص ٢٠٤ بواسطة تحاليل جهاز الطيف الكتلي .	معادن الجالينا أو اليورانيوم	رصاص - رصاص

ملاحظات	المجال والدقة	الوسيلة المستخدمة	نوع المادة المستخدمة	الطريقة
ان جزءا من سلسلة تورتونيم ٢٣٨ - رصاص ٢٠٦ - رادون ٢٢٢ ، الى الغلاف الجوي من الصخور ، تؤدي الى رصاص ٢١٠ . فالرصاص ٢١٠ يفصل بيهام المطر من الغلاف الجوي . ويتفكك الى بيزموث ٢١٠ - بولونيوم ٢١٠ - رصاص ٢٠٦ . ينقل الرصاص ٢١٠ بسرعة من الماء الى واسطة الترسيب او الامتزاز على الجسيمات الرسوبية . ان نسبة النقل من الماء وكمية الرصاص ٢١٠ الاصلية ضرورية لتعيين العمر .	حتى حوالي ١٠٠ سنة . يعطي نتائج التحليل تقديرا دقيقا مقبولا لنسب التجمع .	حساب نسبة البزموت ٢١٠ المشتق بالتحليل الاشعاعي للرصاص المفصول ٢١٠	ماء عذب وبحري وثلج جليدي والرواسب الحديثة الترسيب	رصاص ٢١٠

الطريقة	نوع العينة المستخدمة	الوسيط المستخدم	المجلد والدقة	ملاحظات
نتائج طرق التقاطير أو التشتيت الإشعاعي				
بوتاسيوم - أرجون	معدن المايكا والفلسبار	بوتاسيوم ٤٠ ، أرجون ٤٠ يُقاس البوتاسيوم بواسطة بواسطة جهاز الطيف الكلبي .	من ١٠٠٠٠٠ إلى عدة ملايين سنة . غالباً في المايكا لا يتجاوز ١٠٪ .	تفقد الفلسبارات أرجون (حتى ١٠٪) يؤثر التحول على النتائج إذا ما سُفست المخزور
روبيديوم - سترونتيوم	مايكا ، هاسكونايفرست ، بيوتايت وفيلسبار المخضر الكلبي . جلوكونايت (نفي الرواسب) .	كثافة السترونتيوم ٧٦ كثافة السترونتيوم ٨٧ كثافة الروبيديوم ٨٧ نمطين النسب بواسطة جهاز الطيف الكلبي	لا تناسب الأعمار التي تقل عن (٥٠) مليون سنة بالنسبة إلى طول نصف حياة الروبيديوم ٨٧ . تعتمد دقة الطريقة على نصف حياة الروبيديوم ٨٧ ومهذبه لسم تمعين بدقة .	إن ثابت التفتك للروبيديوم ٨٧ غير مؤكد بالنسبة التي انخفاض طاقه جسيمات بيتا المنومة . يمكن أن يؤدي التحول إلى اجساد تجانس نظائر الروبيديوم والسترونتيوم بحيث يمكن استخدام أي طريقة لتعيين تاريخ أحداث التحول .

الطريقة	نوع المادة المستخدمة	الوسيلة المستخدمة	المجال والدقة	ملاحظات
نتائج التفطر أو النشاط الإنشائي (كملة)				
هيليوم	والتوربيوم . (غاليليوم-عبرة عن جسيمات النفا المتفجرة)	كثرة اليورانيوم-٢٣٨ ، يورانيوم ٢٣٥ وتوربيوم ٢٣٢ الى نشاط اشعة النفا .نسبة اليورانيوم / التوربيوم .	من عدة ملايين الى عدة بلايين سنة . الدقة موضع جدل .	الطريقة لم تستخدم على نطاق واسع في الوقت الحاضر بسبب اكتشاف سهولة الانتشار بواسطة الهيليوم
كربون ١٤	نجم الخشب ، الخشب ، الصفحة .	تعداد نشاط اشعة بيتا في عينة من الكربون بواسطة التقنية .	من صفر الى ٥٠٠٠ سنة . الدقة جيدة على مستوى ١١ - ٢٠٠٠ سنة الاخيرة .	يفترض حالة ثابتة لانتاج الكربون ١٤ في الفسلاف الجوي بواسطة الانسحاق الكوني . انخفاض توزيع منتظم للكربون ١٤ في جميع النلاف الجوي الارضي .
المهدروجين ٣ (التريتيوم)	عينات ماء ، ٢ - ٦ لترات	نشاط اشعة بيتا للتريتيوم .	يستمر ١٢٠ سنة .	اثيرت تجارب تفطر التريتيوم الاخيرة على مدى مائتي استعمال هذه الطريقة .

الطريقة	نوع المادة المستخدمة	الوسيلة المستخدمة	الاجال والذمة	ملاحظات
طرق التلاف الإشعاعي				
مقياسية	زيركون (الافسسل) ، يوكرينات ، سفين ، يورانيات ، دانيات .	مقدار التلسف الإشعاعي (حالة الميتات) في المعدن عادة بواسطة الحسرات الإشعاعية المبيضة X-ray diffraction. المادة المشعة بواسطة حساب اشعة الفا .	اعتبرت حاليا بأنها طريقة غير دقيقة اجماليا . من أواخر البريكيري وحتى الايوسين تقريبا . مفيد في تعيين العمر النسبي .	يؤدي تسخين البلورة السي أعادة تبلورها مرة ثانية ، ومن ثم يمكن استخدام هذه الطريقة لتاريخ التحول أو الاحداث النارية . التلون حساس للحرارة ، ويمكن أن ينعكس على مستوى عال من الإشعاع . يفترض وجود اشعاع يتماثل وحساس لجميع البيوتيتات وان التلون اذا ما تكون ، لا يثبت مع مرور الزمن .
هالة البيلي كوريك	بيوتيت ، أو مونوزايت . أليبت ، أو مونوزايت .	شدة تلون البيوتات . عرض التلون . نشاط اشعة الفا الداخلية .		

الطريقة	نوع المادة المستخدمة	الوسيلة المستخدمة	المجال والدقة	ملاحظات
طرق الاتلاف الإشعاعي (تكملة)				
التيير مولر مينيسيس *	المحور الجريسة ، اللو رايت ، الكوارتز ، الطلسيلات .	عينة مسخرة من اللومينيسنس الى درجة حرارة ٤٠٠ مئوية . ويقاس مختى الترهج بواسطة سجل جهاز التصوير الجهرى (الدقيق) .	مليون سنة كحد أقصى الدقة + ١٥٪ .	يمكن استخدامها لتعيين مراحل التحول . ويعتخدم خصيصا في قياسات الاحوال الناجية القديمة .
الإشعاع التحزري (خطوط الجسيمات المشطرة)	مليكا ، يمكن استخدامها مع أخرى أيضا .	تعد خطوط الجسيمات بالجهر الشوى . ويعين اليورانيوم بواسطة اشعة الفا .	مليون سنة . لسم تخصص الدقة تماما لحد الان .	طريقة مألولة جدا . يمكن أن تكون حساسة للحرارة في عمليات التحول .
الطرق الكيمائية				
التحول الى زجاج	زجاج ، اما اوبسيديسان طبيعي او صنعه الانسان .	التطور الزجاجي وبالسذات على سطح الارض .	منيد في تعيين الاعمار النسبية الماضية حيث يبلغ عمر الاوبسيديان (٥) مليون سنة .	تعتمد نسبة التطور على المكونات الكيميائية والحرارة ، وعلى الماء الملازم للزجاج .

* Thermoluminescence
9 Radiation pitting

الطريقة	نوع المادة المستخدمة	الرسيلة المستخدمة	المجال والدقة	ملاحظات
نتائج الظاهر أو النشاط الإشعاعي (تكلمة)				
توزيع مستوى الاحماض الامينية	معدنه او قطع عظام	احماض امينية والروايسط الهضمية	تكون الدقة افضل في اخر مليون سنة لكن الاحماض الامينية المكتشفة في الصخور تزيد على (٥٠٠) مليون سنة قديما .	تشمل عمية كيميائية قسسي حين ان السرعة تعتمد على الحرارة .
بروتين - نيتروجين	امداد رخويات بالفسه (نافجة)	محتوى النيتروجين المقوي اخلاعات :ليسه Kjelדהل الدانية (بطريقة الدقية) .	ربما مقدرة مع اللابستوسين والى او اخر الثلاثي	يمكن تحديد الاعمال النسبية فقط .

لا لنويات ولا لاصول العناصر (٢٧) . وتعتبر الفرضية الاخيرة قليلة الرصانة بسبب التعرية والتحول .

وهناك عدة عناصر مشعة تستخدم لتأريخ الصخور، ولكن اهمها هو مانعرضه هنا . وقد سجلت الطرق المستخدمة والمتعارف عليها في الجدول (١٩ — ١) (انظر ايضا الفصل الثاني) . يحتوي قليل من المعادن على يورانيوم (٢٨) ، وهذه غموما تحتوي ايضا على ثوريوم (٢٩) ، الذي هو بنفس حجمه الذري تقريبا . فهذه المعادن نادرة وباستثناءات قليلة فهي غالبا ما تكون ملازمة لعروق البيجماتيت (٣٠) في الباثوليتات (٣١) وحيث أن هذه العروق هي اخر ما يمكن أن يتبلور، فان وجودها يؤدي الى معرفة الحد الاعلى لعمر الباثوليت فقط . فكل من النظائر المشعة الثلاث التي تحتويها هذه المعادن — اثنان من اليورانيوم وكذلك ثوريوم — تنتج سلسلة (٣٢) من نواتج نويات النشاط الاشعاعي ، وكل عضو من كسل سلسلة يتحلل الى النواة التي تليه حتى ينتج اخيرا نظير ثابت للرصاص (الشكل (٢ — ١٠)) . وتشكل هذه الخطوات العديدة مصدرا محتملا غير دقيق ، لانه من الممكن لاي واحدة من النويات أن تعزل بالتصفية أو ببعض طرق اخرى . اما العناصر ونواتجها النهائية فهي كما يلي : —

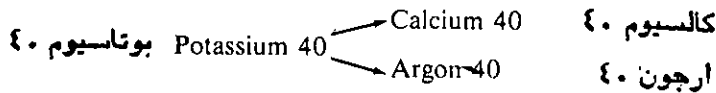
Lead 206	رصاص ٢٠٦	←	Uranium 238	يورانيوم ٢٣٨
Lead 207	رصاص ٢٠٧	←	Uranium 235	يورانيوم ٢٣٥
Lead 208	رصاص ٢٠٨	←	Thorium 232	ثوريوم ٢٣٢

وهكذا ، وبهذه الطريقة ، فانه من الممكن أن تقاس ثلاث نسب جميعها تتفق في العمر . وهناك مشكلة تتعلق بالرصاص عند تحديد الاعمار وهي أن كثيرا من الصخور تحتوي على بعض رصاص ذي اصل غير مشع . ان كمية الرصاص غير المشع صغيرة ولكن ربما تطلب حساب عمر الصخور القديمة جدا تصحيحا كبيرا .

ويحتوي هذا الرصاص العادي على نظير الرصاص (٢٠٤) ومن ثم فإن وجوده يمكن معرفته بسهولة . والمشكلة هي أنه بجانب الكميات القليلة للرصاص (٢٠٤) توجد النظائر الثلاث رصاص (٢٠٦) ، ورصاص (٢٠٧) ، ورصاص (٢٠٨) ، وهو ما يحصل اشعاعيا عندئذ تكون نسب النظائر الاربعة جميعها مختلفة . ولكي يعاد النظر في الرصاص العادي الموجود سابقا ، فلا بد لنا من أن نحلل الصخور غير المشعة في المنطقة لايجاد النسبة بين رصاص (٢٠٤) وكل من النظائر الأخرى . ويمكن بهذه الطريقة استبعاد الرصاص (٢٠٦) ، والرصاص (٢٠٧) ، والرصاص (٢٠٨) غير المشع من ذلك بسبب التحلل الاشعاعي . وتحتوي النيازك على رصاص (٢٠٤) ويعتبر تصحيحه بالنسبة للرصاص العادي مشككة . وتستخدم النيازك لتاريخ تكوين الأرض ، كما سيرد لاحقا ، وهكذا فإن هذه المشكلة تؤدي الى بعض الالتباس في تعيين هذا التاريخ الهام .

الروبيديوم (٣٣) عنصر مشع ويوجد عموما بكميات قليلة في أي معدن يحتوي على بوتاسيوم ، لأن كلا العنصرين لهما نفس الحجم تقريبا . ويتحلل الروبيديوم في خطوة واحدة الى سترونشيوم (٣٤) ونظرا لأن معادن البوتاسيوم التي تحتوي على روبيدوم شائعة (فليسبار (٣٥) ومايكا (٣٦)) ولا يشترك منها سوى تحلل اشعاعي واحد فقط ، فإن هذه العملية يمكن أن تصبح من أهم الطرق المفيدة للتاريخ بالنشاط الاشعاعي . وعلى كل حال ، فإن نصف الحياة (٣٧) لهذا التحلل لا يمكن قياسه بدقة في الوقت الحاضر لأن الطاقة المنخفضة لجسيمات بيتا (٣٨) المقذوفة تجعل من الصعب ملاحظتها .

والبوتاسيوم له نظير مشع أيضا وهو مفيد في التاريخ ، وخاصة لأنه عنصر شائع . وتحلل الكمية الصغيرة من البوتاسيوم المشع لتكون نواتين كما يلي :



والكالكسيوم ٤٠ هو كالكسيوم عادي وهو موجود في غالبية المعادن . ولذلك ، فالطريقة المستعملة تتوقف على قياس كميات البوتاسيوم ٤٠ والأرجون ٤٠ .

33. Rubidium

34. Strontium (Rubidium 87 Strontium 87)

35. Feldspar

36. Mica

37. Half-life

38. Beta Particles

فالمشكلة الأساسية هي ايجاد معادن تستطيع الاحتفاظ بغاز الارجون ، ويظهر ان المايكا ، بالرغم من تشتتها تحفظ معظم غاز الارجون لكن الفلسبار يفقد حوالي ربعه .

فالطرق المجلة اعلاه مفيدة في تأريخ مدى يتراوح ما بين مليون واحد الى بلايين قليلة من السنين (الجدول (١٩ - ١)) . وهناك طريقة اخرى فعالة يستخدم فيها نظير الكربون المشع لتأريخ المواد الكربونية ، كالخشب او الفحم ، ولا يزيد مداها عن (٤٠ . ٥٠٠٠) سنة . تعتمد هذه الطريقة على حقيقة ان جميع المواد الحية تحتوي على نسبة ثابتة من الكربون ١٢ العادي وكربون ١٤ المشع . وتتفاعل الاشعة الكونية مع النيتروجين في الغلاف الجوي (٢٩) لتكون الكربون ١٤ الذي يدخل في النهاية الى جميع المواد الحية عن طريق حلقة الغذاء . ويتحلل الكربون ١٤ عائدا الى نيتروجين . ومن ثم فان نسبة الكربون ١٢ الى الكربون ١٤ يمكن ان تستخدم لحساب مقدار الزمن الذي مضى على موت كائن ما ، لان الكائن الميت توقف عن اخذ الكربون ١٤ . وتستخدم هذه الطريقة بكثرة في دراسات الاثار والرواسب الجليدية .

وهناك نوع اخر من التأريخ بالنشاط الاشعاعي يكون بقياس الضرر الحاصل لشبكة بلورية^(٤٠) بواسطة الجسيمات المتحررة بالنشاط الاشعاعي . فذلك الطرق ، المذكورة في الفصل الثاني ، هي نسبيا غير دقيقة .

ويمكن تعيين عمر الصخور بطرق كيميائية . وتعطى هذه الطرق اساسا ، اعمارا نسبية في الوقت الحاضر ، لكن الدراسات الحديثة يمكن ان تؤدي الى اعمار مطلقة ويعتبر التأريخ النسبي لرواسب الجليديات^(٤١) بالاعتماد على التعرية مثلا واضحا لذلك . فتعتمد نسب التعرية على عوامل كثيرة بحيث ان الاعمار المطلقة غير ممكنة بهذه الطريقة ولا بد من الحيلة كثيرا عند القيام بتطبيقها . اما تبلور الزجاج البركاني فيؤخذ مثلا اخر . فالابوسيديان^(٤٢) ، او زجاج اخر ، غير ثابت ويميل لان يعيد تبلوره ، وعلى كل ، فان سرعة اعادة التبلور تعتمد على تركيب وكمية الماء في الزجاج ، بالاضافة الى عوامل اخرى . وتكسير الاحماض الامينية في المستحاثات هي طرق كيميائية مأمولة للتأريخ . ويعتمد التكسير على عدة

39. Atmosphere

40. Lattice

41. Glacial Moraines

42. Obsidian

عوامل ، كالحرارة وتركيب ماء التكوين لكنه يعطي نتائج دقيقة معقولة في الصخور الحديثة .

درجات الحرارة القديمة

Paleotemperatures

يمكن استخدام النظائر في تعيين درجات الحرارة القديمة وكذلك العمر .
نستخدم نظائر الاكسجين في تعيين درجة الحرارة . وللأكسجين ثلاث نظائر هي : أكسجين ١٦ ، وأكسجين ١٧ ، وأكسجين ١٨ . فعندما تتبخر المياه ، فإن أخف نظير — الأكسجين ١٦ الشائع — يتبخر بسرعة أعلى قليلاً من النظائر الثقيلة . ويتناسب هذا الفرق في سرعات التبخر مع درجة الحرارة . ويمكن قياس نسبة الأكسجين ١٦ إلى الأكسجين ١٨ واستخدامها في تعيين درجة الحرارة . وعملياً ، فإن النسبة تقاس في اصداف المستحاثات المتكونة من كربونات الكالسيوم (CaCO_3) . وتوجد عيوب عديدة في هذه الطريقة ، إلا أن النتائج حتى الآن لا تتجارب إلى حد ما مع الأدلة الجيولوجية الأخرى .

والشعاب المرجانية ، والتبخريات^(٢٢) ، والرواسب الصحراوية والرواسب الجليدية ، هي من الوسائل الأخرى لتقدير درجات الحرارة . وقد استخدمت المستحاثات ، النباتية والحيوانية ، بنجاح باهر لإعادة تشكيل الأحوال المناخية والبيئية .

أسئلة

- ١٩ — ١ كيف يستطيع شخص ما تفسير البيئة الرسوبية لطبقة صخور قديمة؟
- ١٩ — ٢ صف بخطوط عريضة كيفية نشوء السلم الجيولوجي ووضح فيما اذا كان يتألف من اقسام طبيعية في أمريكا الشمالية .
- ١٩ — ٣ ما هو عدم التوافق ؟ صف الاصناف المختلفة له .
- ١٩ — ٤ كيف نشأت أهمية المستحاثات في تعيين العمر الجيولوجي ؟
- ١٩ — ٥ دون وصف باختصار طرق مضاهاة الصخور .
- ١٩ — ٦ لماذا يكون من السهل عموما تأريخ الصخور البحرية أكثر من الرواسب القارية ؟
- ١٩ — ٧ كيف تؤرخ الصخور المتحول ؟ ماهي التواريخ المطلوبة ؟
- ١٩ — ٨ أي طريقة أفضل للتأريخ بالنشاط الإشعاعي ولماذا ؟
- ١٩ — ٩ ماهي المستحاثات المرشدة أو الدالة ؟
- ١٩ — ١٠ كيف يمكن تأريخ حوادث التحول بالنشاط الإشعاعي ؟
- ١٩ — ١١ ما هو التأثير الذي يحصل عندما تمزج كمية صغيرة من مادة جذر حديث مع عينة ستؤرخ بطريقة الكربون — ١٤ ؟
- ١٩ — ١٢ كيف يمكن تمييز عدم توافق زاوي من صدع مدفوع ذو زاوية قليلة ؟

١٩ — ١٣ تساعد المستحاثات في تعيين العمر لوحدة صخرية ما . كيف تساعد

هي الأخرى في التفسير الجيولوجي ؟

١٩ — ١٤ برهن لصديقك الفنان الذي لم يدرس أي علم طبيعي بأن الأرض قديمة جداً .

مراجع اضافية

- Deevey, E. S., Jr., "Radiocarbon Dating," *Scientific American* (February, 1952), Vol. 186, No. 2, pp. 24-33. Reprint 811, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Eiseley, L. C., "Charles Lyell," *Scientific American* (August, 1959), Vol. 201, No. 2, pp. 98-106. Reprint 846, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Emiliani, Cesare, "Ancient Temperatures," *Scientific American* (February, 1958), Vol. 198, No. 2, pp. 54-63. Reprint 815, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Faul, Henry, *Ages of Rocks, Planets, and Stars*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1966, 109 pp. (paperback).
- Fenton, C. L., and M. A. Fenton, *Giants of Geology*. Garden City, New York: Doubleday & Co., 1952, 333 pp. (Also published in paperback, New York: Dolphin Books and Dolphin Masters, 1952, 318 pp.)
- Geikie, Sir Archibald, *The Founders of Geology*. New York: Dover Publications, Inc., (1905, 2nd edition) 1962, 486 pp. (paperback).
- Gillispie, C. C., *Genesis and Geology*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1951. (Also published in paperback, New York: Harper & Row, Publishers, 1959.)
- Hay, E. A., "Uniformitarianism Reconsidered," *Journal of Geological Education* (February, 1967), Vol. 15, No. 1, pp. 11-12.
- Hurley, P. M., "Radioactivity and Time," *Scientific American* (August, 1949), Vol. 181, No. 2, pp. 49-51. Reprint 220, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Knopf, Adolph, "Measuring Geologic Time," *Scientific Monthly* (November, 1957), Vol. 85, No. 5, pp. 225-236. Reprinted in J. F. White (ed.), *Study of the Earth*, pp. 41-62. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1962 (paperback).
- Kulp, J. L., "Geologic Time Scale," *Science* (April 14, 1961), Vol. 133, No. 3459, pp. 1105-1114.

الفصل العشرون

تاريخ الأرض المبكر

إعتبارات فلكية جيولوجية

**Early History of the Earth—Astronomical
Aspects of Geology**

مجموعة الكواكب السيارة الداخلية

المريخ

الزهرة

الكواكب الكبرى

القمر

النيازك

المذنبات

التكتايت

أصل النظام الشمسي

نظام الأرض والقمر

بداية تاريخ الأرض

التبلور الداخلي للأرض

أصل المحيطات والغلاف الجوي

أسئلة

مراجع إضافية

شوجرلوف Sugarloaf الذي يرتفع فوق ميناء ريو دي جانيرو ، ويتكون من صخور
عصر ما قبل الكامبري المقاومة . الخطوط الجوية الأمريكية عبر العالم .

۲۰



تعتبر الأرض جزءاً من النظام الشمسي ^(١) ، ولهذا فلا بد من البحث عن أدلة فلكية على أصل الأرض . فهدفنا الرئيسي في هذا الفصل من الكتاب ليس فلكيا وإنما سيكون وصفيا وإن كثيرا من المعلومات سترد بلا براهين . وتفاصيلها لن تذكر إلا حينما تتوافر لها تطبيقات جيولوجية هامة .

ليست الشمس بالنجم الوحيد المعروف بأن له كواكب سيارّة . فالنجوم الأخرى لها أيضا كواكب سيارّة ولكنها بعيدة عن الرؤيا حتى باستعمال أعظم التلسكوبات ، إلا أن وجودها قد استدل عليه من الحركة المترددة لثلاثة مسن النجوم ومن خمسة نجوم أخرى لم يتأكد تردد حركتها بعد .

النظام الشمسي

Solar system

يتألف النظام الشمسي من الشمس والكواكب الأخرى التي تدور حولها ومن التمريرات (٢) ، والمذنبات (٣) ، والنيازك (٤) ، والنجميات (٥) . وقد فسر قانون الجاذبية حركتها المدارية المستمرة .

فالشمس عبارة عن نجم عادي ، متوسط الحجم ، يتألف أساساً من الهيدروجين والهيليوم ولكنها تحتوي على معظم العناصر الموجودة على كوكب الأرض . أما مصدر الطاقة الشمسية التي تجعل الحياة ممكنة على سطح الأرض وتؤدي في النهاية إلى معظم العمليات الجيولوجية — فمن التفاعلات النووية (٦) التي بحثت في الفصل الثاني من هذا الكتاب . ومن ثم فالشمس تؤلف (٩٩.٨٦ ٪) من كتلة المجموعة الشمسية والأرض ١ ٪ من الباقي وهو ٠.١٤ ٪ . تدور الكواكب السيارة التسعة في اتجاه واحد حول الشمس . فالمدارات بيضاوية الشكل ، قريبة جداً من شكل الدائرة ، وتقع بالقرب من سطح مستو واحد ما عدا مدار كوكب بلوتو (٧) الذي ينحرف عنه الجدول (٢٠-١) . ويمكن رؤية الشمس والكواكب السيارة الأخرى من سطح الأرض وهي تتبع ممراً واحداً في السماء . أما الحقائق عن هذه الكواكب فيلخصها الجدول (٢٠-١) . وتتميز الكواكب السيارة الداخلية (٨) — التي تضم عطارد (٩) ، والزهرة (١٠) والأرض (١١) والمريخ (١٢) ، — بأن لها أحجاماً متشابهة إلى حد ما . في حين تتميز كواكب المشتري (١٣) ، — ورحل (١٤) ، وأورانوس (١٥) ، ونبتون (١٦) بأحجامها الكبيرة ومن ثم فهي تؤلف مجموعة متشابهة . ويتميز كوكب بلوتو بأنه أصغر كثيراً من الكواكب الخارجية (١٧) وله مدار مائل ومنحرف ولهذا فهناك من يستثنيه من الكواكب السيارة . ويلاحظ أن هناك عدة آلاف من الأجسام الصغيرة التي تعرف بالنجميات (١٨) ما بين مداري كوكبي المريخ والمشتري ويعتقد بأنها أصل الشهب أو النيازك (١٩) . ويوضح الجدول (٢٠ - ١) معظم المعلومات المتعلقة بالكواكب السيارة ، إلا أن بعضاً من النقاط الهامة فقط ستعالج وتبحث فيما يلي .

2. Satellites

3. Comets

4. Meteors

5. Asteroids

6. Nuclear Reactions

7. Pluto

8. Inner Planets

9. Mercury

10. Venus

11. Earth

12. Mars

13. Jupiter

14. Saturn

15. Uranus

16. Neptune

17. Outer Planets

18. Asteroids

19. Meteors

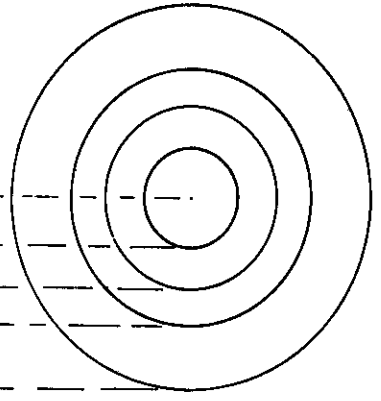
الجدول (٢٠ - ١) : ملخص عن النظام الشمسي • الإحصائيات التالية تقريبية

الشمس	معدل الشمس بملايين الأميال	القطر (١) بالأميال	الكتلة الأرض=١	الكثافة النوعية	الانحراف المداري	ميل المحور	زمن الدورة حول الشمس	زمن الدوران
الشمس	—	٤٢٢٠٠٠	٣٣٢٠٠٠	١٤	—	—	—	٢٥ يوما على المدار ٢٤ يوما على الاقطاب
عطارد	٣٦	١٥٠٠	٠.٠٥	٥	٠.٢٠٦	١.٠° (٢)	٨٨ يوما	٥٩ + ٥ يوما
الزهرة	٦٧	٣٨٠٠	٠.٨١	٥	٠.٧٠٧	٦	٢٢٥ يوما	٢٤٧ ± ٥ يوما
الأرض	٩٣	٣٩٦٣	١.٠٠	٥	٠.١٧	٢٣.٥	٣٦٥.٢٥ يوما	٢٣ ساعة ٥٦ د
المريخ	١٤١	٢١٠٠	٠.١١	٤	٠.٩٣	٢٥.٢	٦٨٧ يوما	٢٤.٥ ساعة
المشتري	٤٨٣	٤٣٥٠٠	٣١٨	١٣	٠.٠٤٨	٣.١	١١.٩ سنة	٩.٩ ساعة
زحل	٨٨٦	٢٧٠٠٠	٩٥	٠.٧	٠.٠٥٦	٢٦.٧	٢٩.٥ سنة	١٠.٢ ساعة
أورانوس	١٧٨٢	١٥٧٥٠	١٤.٦	١.٦	٠.٠٤٧	٩.٨	٨٤ سنة	١٠.٨ ساعة
نبتون	٢٧٩٢	١٦٥٠٠	١٧.٢	٢.٣	٠.٠٠٩	٢٩	١٦٥ سنة	١٥.٧ ساعة
بلوتو	٣٦٦٦	١٨٠٠ (٢)	٠.١ (٢)	٢	٠.٢٤٦	٢	٢٤.٨ سنة	٦.٤ يوما (٢)

- (١) المعلومات من مصادر مختلفة وهي تتغير بمعدل قد يصل إلى ١٠٪ •
(٢) تدور الزهرة باتجاه عقرب الساعة وذلك خلافا لباقي الكواكب •

التركيب الغلاف الجوي	الضغط الجوي على السطح (الارض=١)	درجة الحرارة (مئوية)		الانبعاع الشمسي الانعكاس عن الارض %	الانبعاع الشمسي الوارد (الارض=١)
		الحقيقية قيمة الغلاف الجوي السطح	النظرية (٢)		
—	—	٥٥٥٥	—	—	—
ثاني اكسيد الكربون	٠.٠٠٣	٤٢٥ في الشمس ١٧ في الظل	—	٦	٧
ثاني اكسيد الكربون	١٥	٥٣٦	٥٢٨ —	٧٢	٢
٧٨٪ نيتروجين ٢١٪ اوكسجين	١	١٥	—	٢٠ —	٣٤
٦٠٪ ثاني اكسيد الكربون ٢٠٪ نيتروجين ٢٠٪ ارجون	٠.٠١	٤٢ (٤)	٥٠ —	٦٥ —	٣٠
٦٠٪ هيدروجين ٣٦٪ هيليوم ٣٪ نيون ١٪ ميثان وامونيا	٢.٠٠٠٠	٢٠٠٠	١٢٢ —	١٦٨ —	٤٥
نفس مكونات المشتري	٢.٠٠٠٠	٢٠٠٠	١٦٧ —	١٩٥ —	٥٠
نفس مكونات المشتري مع زيادة في الميثان وانعدام الامونيا	٨	٤	١٨٥ — تقريباً	١٨٥ —	٦٦
نفس مكونات اورانوس	٤	٤	١٨٥ — تقريباً	١٨٥ —	٦٢
٤	٤	اختلاف كبير بسبب الانحراف		٢١٢ —	١٥ (٤)

(٣) درجات الحرارة النظرية تحسب بناء على الطاقة الواردة من الشمس ، أما
درجات الحرارة الحقيقية فهي عادة أعلى نظراً لما يمتصه الغلاف الجوي ،
(٤) يتراوح المعدل من (٢٠ الى ٩٥) حسب خط العرض .



مقياس الكواكب
الداخلية

مليارات الأميال

مقياس الكواكب الكبيرة

مليارات الكيلومترات

مليارات الكيلومترات

مليارات الكيلومترات

Sun شمس

Mercury عطارد

Venus زهرة

Earth ارض

Mars مريخ

Jupiter

مشتري

Saturn

زحل

Uranus

اورانوس

Neptune

نبتون

Pluto بلوتو

اهليج

Ecliptic

الشكل (٢٠ - ١) : مدارات الكواكب السيارة : نظرا لان كوكب بلوتو يبعد ٤ مرة عن الشمس اكثر من الارض فانه من غير الممكن رسم هذا المخطط في حجم الصفحة .
فقد ميزت الكواكب الداخلية بدوائر بنفس مقياس الرسم في حين ان المسافات بين الكواكب الكبرى قد رسمت بمقياس رسم مختلفة حتى ان الاعراف قد اهل . وتظهر المدارات وكأنها على نفس المستوى في اسفل المخطط بمستقاء بلوتو .

مجموعة الكواكب السيارة الداخلية

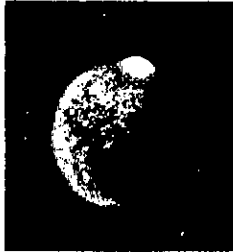
Inner Planets

تضم هذه المجموعة كواكب عطارد والزهرة والارض والمريخ . وعطارد اصفرها حجما واقربها الى الشمس ولذا لا يمكن أن تجري عليه الدراسات التيليسكوبية المفصلة . وكوكب الارض هو الموضوع الرئيسي في هذا الكتاب . اما كوكبا الزهرة والمريخ القريبان من كوكب الارض فلهما اهمية بالغة بالنسبة لنا وقد درسا بالتيليسكوب وبمسبار الفضاء (٢٠) واعتقد بالتالي بوجود حياة على سطحيهما . ولكن وجود حياة بالمعنى الذي نعرفه قد يكون مرهونا بتوافر الماء السائل وكوكب المريخ هو وحده الذي تسمح درجات الحرارة على سطحه بذلك .

Mars

المريخ

يتميز كوكب المريخ بلونه الاحمر ولذا أطلق عليه في الماضي اله الحرب . وهو أبعد عن الشمس أكثر من كوكب الارض . ومن ثم غدرجات حرارته منخفضة ومحور دورانه مائل بالنسبة الى مستوى مداره وبالتالي تسود فيه فصول تشبه فصول كوكب الارض . ولقد كشفت الدراسات التيليسكوبية عن أن فيه ثلوجا



١



ب

الشكل (٢٠ - ٢) : كوكب المريخ :

- (ا) صورة لكوكب المريخ بالأشعة البنفسجية حيث يظهر فيها الغطاء الثلجي الفصلي .
(ب) - صورة لكوكب المريخ بالأشعة تحت الحمراء ، حيث انها اخترقت الغلاف الجوي وكشفت عن سطحه . (الصورة من : Lick Observatory)

قطبية تتكون وتذوب كل سنة ويتغير لونه من أزرق يميل للخضرة في الربيع الى بني في الشتاء مشيراً بذلك لدى بعض المراقبين الى تغيرات فصلية (الشكل (٢٠ - ٢)) . وهناك ألوان متغيرة أخرى نسبت الى عواصف رملية وسحب



الشكل (٢٠ - ٣) : صورة لكوكب المريخ حصل عليها بالراديو بواسطة مارينر - ٤ .
فقد كانت المركبة الفضائية *spacecraft* على بعد ٧٨٠٠ ميلا من كوكب المريخ بحيث أن
المنطقة التي غطتها الصورة بلغت ١٧ ميلا شرق - غرب و ١٥ ميلا شمال - جنوب . وتشبه
هذه المنطقة الصغيرة المليئة بالفوهات البركانية من سطح هذا الكوكب سطح القمر ولكنها
تختلف عن سطح الأرض في عدم وجود جت ظاهر وصخور مشوهة فيها (الصورة من NASA) .

يتألف جوه أساسا من ثاني اكسيد الكربون وربما من نيتروجين وآرجون مع قلة من الاكسجين وبخار الماء . الا انه قد لوحظ وجود ما يشبه غاز الميثان عليه وبكميات قليلة جدا . فقد اشارت سفينة الفضاء مارينر رقم (٤) ^(٢١) الى أن غلامه الجوي يبلغ نسبة مئوية ضئيلة من الغلاف الجوي للارض فاذا وجد فيه ماء سائل فهو قليل جدا وربما كان الغطاء الثلجي فيه ما هو الا ثاني اكسيد الكربون متجمد وان أعلى درجة حرارة في وقت الظهر على خط الاستواء لا تتجاوز (٤٠° ف) وربما تنخفض الى (- ٢٠٠° ف) فنهريته في الليل . وهكذا ليست مشجعة لوجود حياة على سطح هذا الكوكب ولكن ربما يكون هناك حياة . وقد تبين من الصور التي أرسلتها مارينر (٤) عن سطح المريخ انه يحتوي على قوّهات بركانية ^(٢٢) ليست بعيدة الشبه عن تلك التي على سطح القمر . ونظرا لقرب المريخ من منطقة النجيمات فليس غريبا وجود هذه القوّهات على سطحه ولكن لم يكن متوقعا احتفاظه بها بهذا العدد . وقد كشفت الصور وعددها ٢٢ - التي التقطت لسطح هذا الكوكب عن بقعة صغيرة جدا من سطحه ، ولم تشر الى عوامل حت أو تعرية مما يدل على عدم وجود الماء . ويدل هذا على أن سطحه قديم جدا .

وربما يكون سطح الكوكب مركبا من حجارة تكونت بفعل النيازك . وتدل العواصف الرملية على أن بعض هذه الحجارة دقيق جدا . أما مجاله المغناطيسي فلا يتجاوز واحدا من ألف من المجال المغناطيسي الارضي . وهذا بالاضافة الى عدم وجود طيات جبلية ^(٢٣) عليه قد دل على عدم وجود نواة سائلة ^(٢٤) له . وليس المريخ منتخا عند خطه الاستوائي كما هو الحال في الارض ، وهذا يعني أن تركيب كوكب المريخ متجانس . وربما يشير هذا الى أن كوكب المريخ والكواكب السيارة الداخلية الاخرى والقريبة منه صغيرة لدرجة أنها لم تتصهر مرة ثانية كما حصل للارض بعد تكونها الاولي والذي سيبحث فيما بعد .

وقد سجل الفلكيون وجود شبكة من الخطوط الباهتة على سطح كوكب المريخ وأطلقوا عليها اسم القنوات ^(٢٥) الا أن أصلها غير معروف ولكن أمكن تتبع هذه الخطوط على صورتين من الصور التي بثتها مارينر (٤) للارض .

21. Mariner-4

22. Craters

23. Folded Mountains

24. Liquid Core

25. Canals

الزهرة

Venus

أطلق القدماء على كوكب الزهرة لقب اله الحب لظهورها فقط عند غروب الشمس وبزوغها . وهو أكثر قربا من الشمس من الأرض ، ومن ثم فدرجة حرارته مرتفعة . ويتميز بان له غلافا جويا سميكاً يتألف كلية من غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يجعل منه ما يشبه البيوت الزجاجية ويؤدي الى ارتفاع درجة حرارته كما تقدم في الفصل العاشر . وفي غلافه الجوي أيضا كميات قليلة من الهيدروجين وبخار الماء وأول أكسيد الكربون وحمضي الهيدروفلوريك والهيدروكلوريك . وتبلغ درجة حرارة سطحه حوالي (٥٣٦ ف) مسببة استبعاد الحياة عليه ويغطي غلافه الجوي غطاء من السحاب الصلب الذي يبلغ سمكه ما بين (٥) — ٦٠) ميلا ومن ثم فلا يظهر سطح الكوكب . ورغم أنه يدور حول نفسه ببطء إلا أنه على خلاف ما نتوقع لا يوجد أي اختلاف يذكر ما بين درجة حرارة الليل والنهار فيه مما يدل على وجود دورة في الغلاف الجوي تعمل على نقل وتوزيع الحرارة . وهو الكوكب الوحيد الذي يدور حول محوره مع عقارب الساعة (انظر الحديث عن أورانوس فيما بعد) . وليس له مجال مغناطيسي مما يشير الى أنه هو أيضا ليس فيه نواة سائلة .

ان معظم المعلومات التي ذكرت آنفا قد تم الحصول عليها من المسابير الفضائية التي مرت بالقرب منه ومن المركبات الروسية التي هبطت على سطحه بنعومة في عام ١٩٦٧ . أما الدراسات الرادارية فقد أشارت الى احتمال وجود سلاسل جبلية على سطحه إلا أنه لم يعرف عن أنواعها وأصلها إلا القليل .

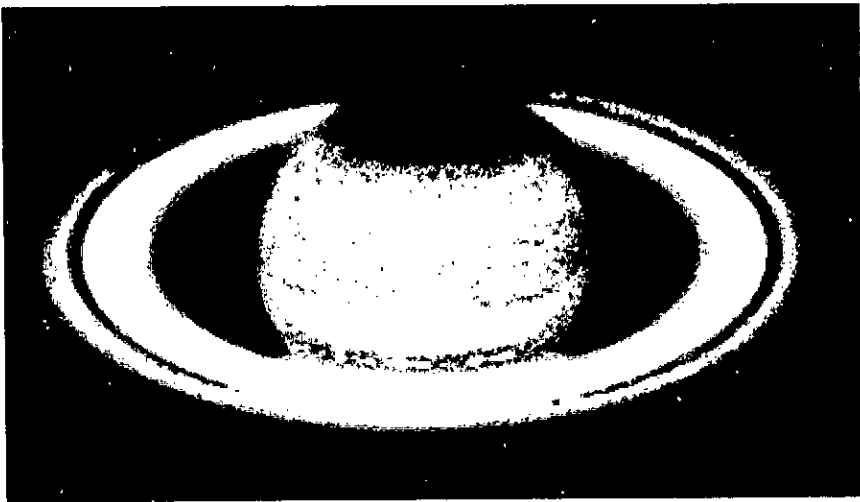
الكواكب الكبرى

Great Planets

أطلق على كواكب المشتري وزحل وأورانوس ونبتون اسم الكبرى لأنها أكبر من الكواكب الأخرى قطرا وكتلة ولكنها أقلها كثافة . ولهذه الكواكب أغلفة جوية كثيفة هي كل ما نستطيع أن نراه منها ويتسبب عن سرعة دورانها انتفاخ أسطحها الغازية . وسطوح أغلفتها الجوية العليا باردة جدا وذلك لبعدها عن الشمس . وهي تحتوي على غاز الميثان وهنالك غاز الأمونيا في كوكبي المشتري

وزحل ، الا ان معظم اجوائها ربما تألفت من غازي الهيدروجين والهيليوم . ان انخفاض كثافتها يفسر بأنها كالشمس تتألف في معظمها من الهيدروجين والهيليوم . ونظرا لان نوى هذه الكواكب اكثر كثافة من نواة الارض فهناك احتمال بوجود صخور صلبة في نوى اورانوس ونبتون ، أما نوى الكواكب الاخرى فقد تكون سائلة . ومن ثم فلم يستطع معرفة مقدار درجة الحرارة على أسطح هذه الكواكب . وقد تكون منخفضة الا ان ضغط الجاذبية في أغلفتها الجوية السميكة قد يكون أدى الى رفع درجة الحرارة على سطح المشتري وزحل الى حوالي (٢٠٠٠) درجة مئوية مما يجعلهما اشبه بالشمس منها بالكواكب . وسنبحث في تكوين الشمس في البند القادم .

ويحيط بكوكب زحل حلقات فريدة قد تكون غبارا يماثل القمر في تركيبه (الشكل ٢٠ - ٤) . ولكن قربه من الكوكب يمنعه من التصلب وتكوين قمر . وربما كانت هذه الحلقات مخلفات تركها الكوكب وراءه عندما تصلب ، او لعلها كونت نجيمات اقتربت جدا في وقت ما من الكوكب وتكسرت وذلك عندما تغلبت قوة الجاذبية على قوتها . ويتميز كوكب اورانوس بأن محور دورانه يميل بمقدار (٩٨°) عن مستوى مداره ، او قد نقول يميل (٨٢°) ويدور في اتجاه يعاكس أغلبية الكواكب الاخرى . أما مدار قمره فهو باتجاه دورانه .



الشكل (٢٩ - ٤) : كوكب زحل ونظام حلقاته .
الصورة من : Mount Wilson and Palomar Observatories

هناك نجيمات أو أقمار تدور حول الكواكب كما تدور الكواكب حول الشمس (الجدول (٢٠ - ٢)) . وتدور أغلبية الاقمار في نفس اتجاه الكواكب الا ان هناك ما يدور بعكس ذلك (تتقهقر) . ومعظم الاقمار اصغر كثيرا من كواكبها . وقمرنا قريب جدا من حجم الارض وبالتالي يمكن اعتبار الارض والقمر بمثابة كوكب مزدوج . أما الاقمار التي تدور في الاتجاه المعاكس وذات مدارات شديدة الميل فقد تكون جذبتها الكواكب الى مداراتها بدلا من أن تكون قد تكونت معها . ان أصل النجيمات مشكلة كبيرة وستبحث فيها بعد .

والقمر اقرب الاجسام الفلكية للارض ، ودراسته ستكشف لنا الكثير مما يهم علوم الجيولوجيا . وستزودنا برامج الفضاء بمعلومات كثيرة ولكن معلوماتنا عن القمر في الوقت الحاضر قليلة جدا . وستعرض لكثير من مسائله في البند القادم عند بحث تكوين القمر . يجري القمر حول الارض ويدور على محوره بسرعة واحدة ولهذا فلا يظهر منه للارض سوى وجه واحد (الشكل (٢٠ - ٥)) . أما معلوماتنا عن الوجه الاخر للقمر فتأتينا بالمسابير الفضائية .

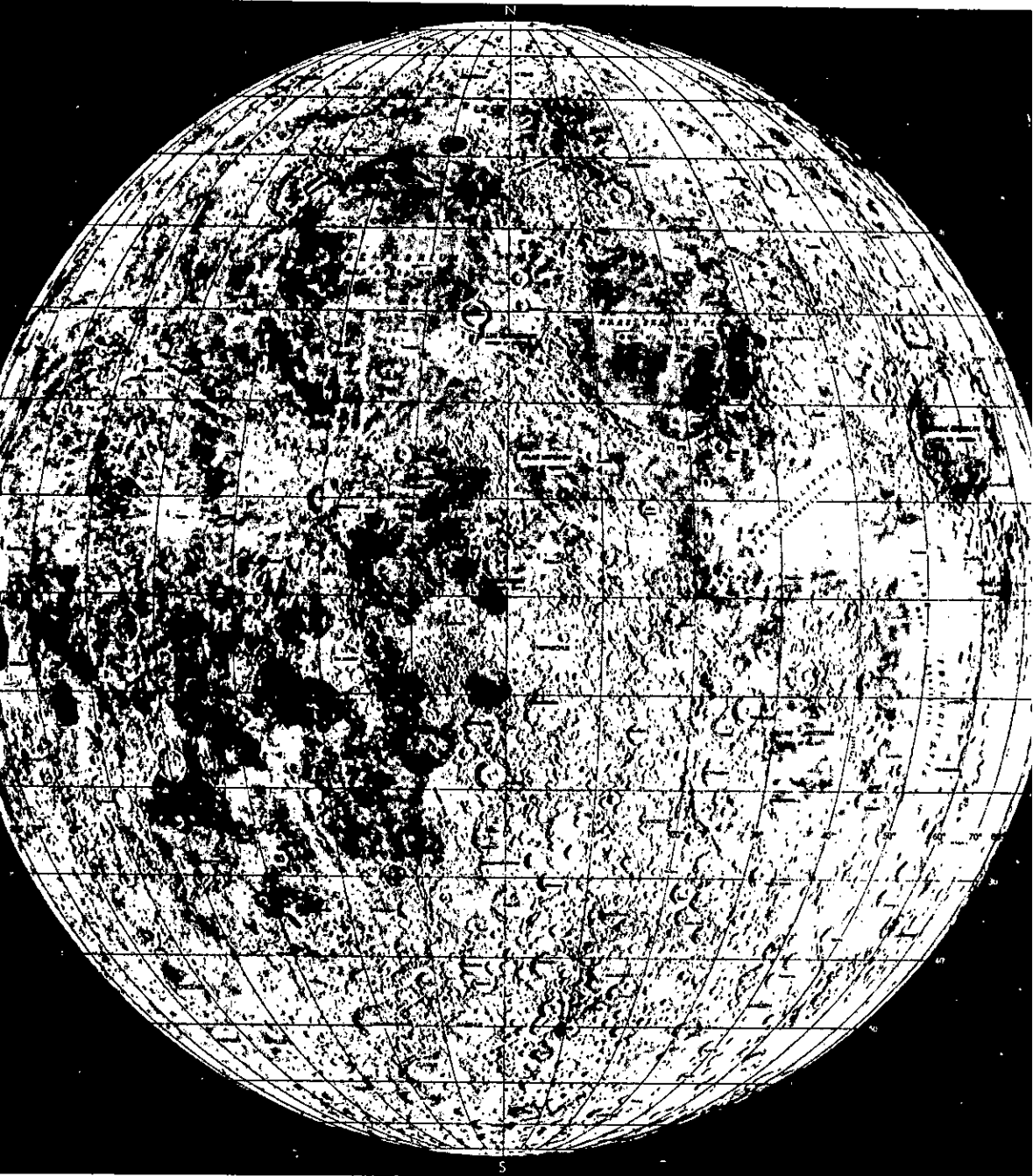
وللوجه المرئي من القمر مساحات شاسعة ، سوداء ، ومصقولة ، ومساحات افتح لونا واكثر وعورة . وقد اعتبر الفلكيون الاوائل المساحات السوداء بحارا (ماريات) (٢٦) والمساحات الفاتحة اللون ، يابسة ، قياسا على سطح الارض . وقد تبين ان سطح القمر مغطى كليا بفوهات بركانية ، وان الصور الجوية الصادرة عن المسابير الفضائية تكشف فوهات لا يزيد قطرها عن بضع بوصات . وقد تكونت معظم هذه الفوهات من نيازك ارتطمت بالقمر لعدم وجود غلاف جوي واق كما هو الحال في كوكب الارض . لهذا ترطمه النيازك اكثر مما ترطم سطح الارض . وقد أمكن تقدير الاعمار النسبية للاجزاء المختلفة من سطح القمر على أساس كثافة الفوهات البركانية ، فأقدمها تتميز بكثرة الفوهات البركانية فيه . والفوهات البركانية ، على أي حال ، ذات انواع مختلفة وربما لها اكثر من اصل واحد . مغالبا ما تكون الفوهات المتشعبة (٢٧) هي المرئية (الشكل (٢٠ - ٧)) ويعتقد بأن التشعب نتج عن مادة خرجت من الفوهة البركانية بسبب الارتطام

الجدول ٢٠ — ٢ : قميرات الكواكب
الكواكب التي لم يرد ذكرها ليس لها أقمار معروفة . والمعلومات أخذت من

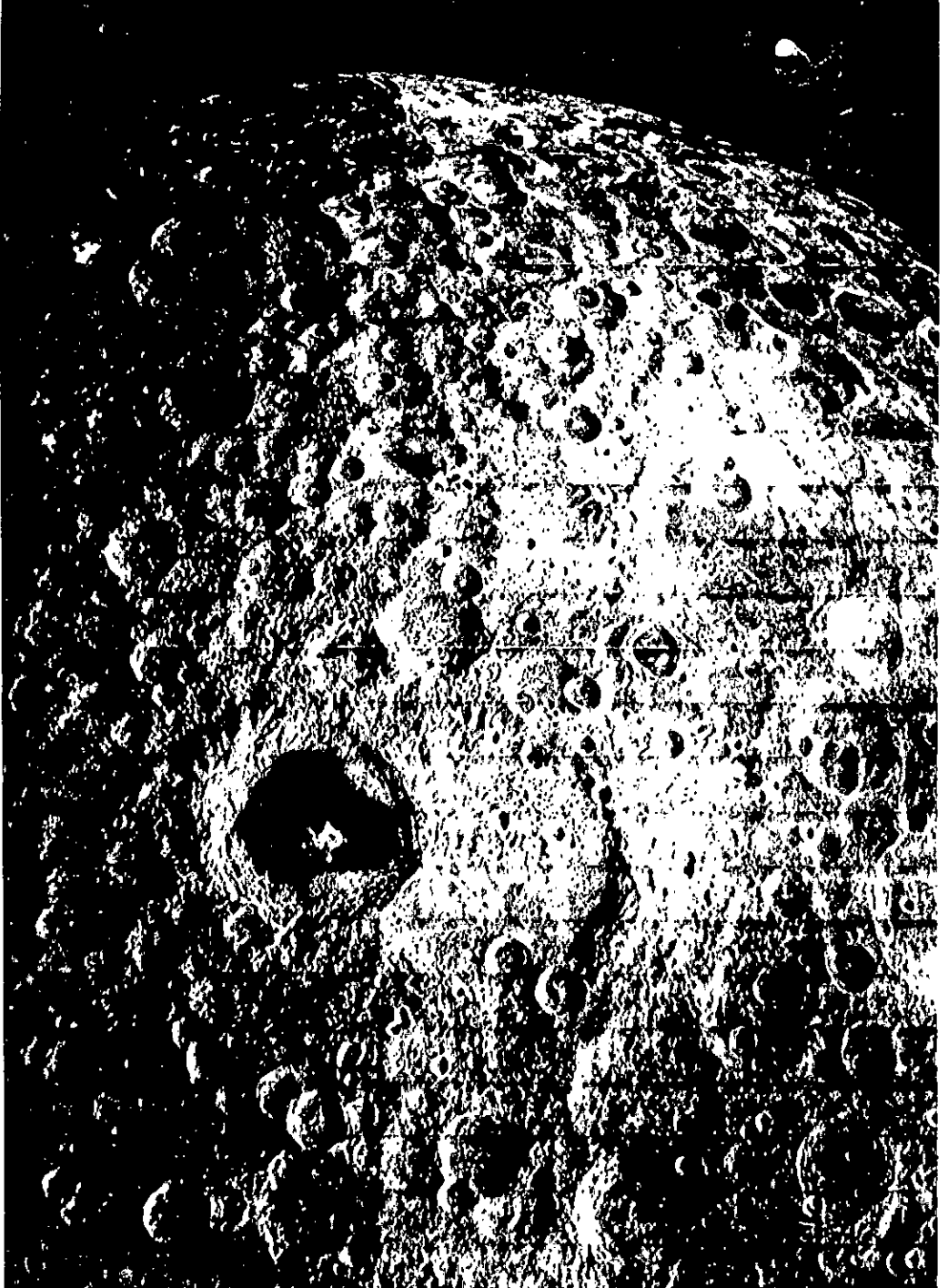
مرجع قميرات النظام الشمسي للمؤلف Werner Sandner من

American Elsevier Publishing Co., Inc., New York, 1965, 151 pp.

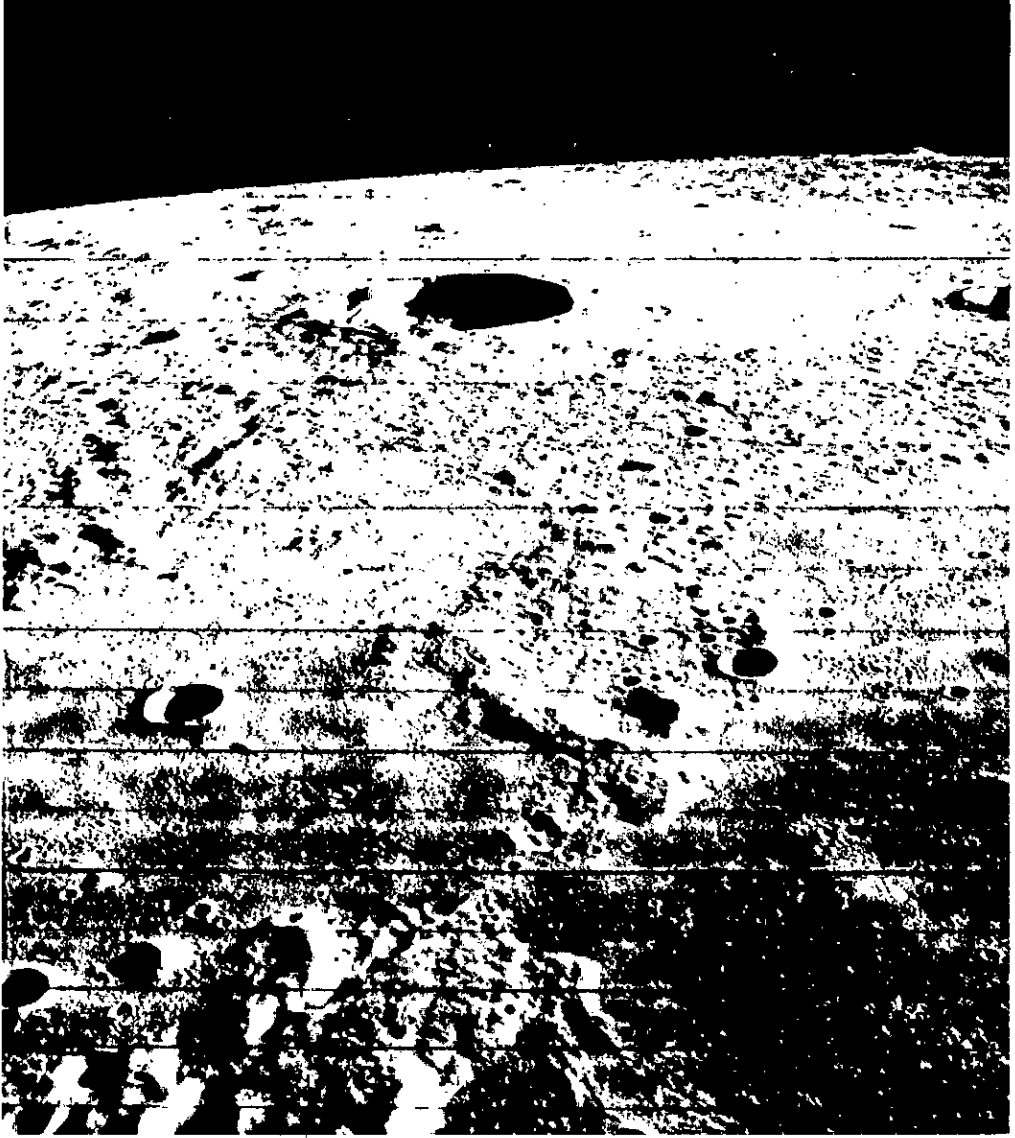
ملاحظات	الانحراف الى مدار الكوكب	الانحراف المداري	القطر (بالاميال)	البعد عن الكوكب (آلاف الاميال)	قميرة
	٥	٠.٠٥٥	٢ ١٦٠	٢٣٨٩	الارض
	٢	٠.٠١٧	١٢ — ٩	٥٨	المريخ
	٢	٠.٠٠٣	٩ — ٦	١٤٦	
	٣	٠.٠٠٣	١٠٠	١١٣	المشتري
	٣	٠.٠٠٠	٢ ٤٥٠	٢٦٢	
	٣	٠.٠٠٠	٢ ٤٠	٤١٧	
	٣	٠.٠٠١	٣ ٥٦٠	٦٦٦	
	٣	٠.٠٠٧	٣ ٣٤٠	١ ١٧٠	
	٢٨	٠.١٥٢	١٠٠	٧ ١٢٠	
	٢٨	٠.٢٠٧	٤٠	٧ ٢٩٠	
	٢٨	٠.١٣٢	١٦	٧ ٣٠٠	
مرتد	١٦٠	٠.٢٠٠	١٦	١٣ ٠٠٠	
مرتد	١٦٣	٠.٢٠٧	١٩	١٤ ٠٠٠	
مرتد	١٤٧	٠.٣٧٨	٤٠	١٤ ٦٠٠	
مرتد	١٥٥	٠.٢٢٢	٢٠	١٤ ٧٠٠	
اكتشف كانون اول ١٩٦٦	غير معروف	غير معروف	٢٠٠ — ١٠٠	٥٢	زحل
	٢٧	٠.٠١٩	٤٠٠	١١٥	
	٢٧	٠.٠٠٠	٥٠٠	١٤٨	
	٢٧	٠.٠٠٠	٨٠٠	١٨٣	
	٢٧	٠.٠٠٢	٧٥٠	٢٣٤	
	٢٧	٠.٠٠١	١ ١٠٠	٣٢٧	
	٢٧	٠.٠٢٩	٢ ٦٠٠	٧٦٠	
	٢٦٠	٠.١٠٤	٣١٠	٩٢٠	
	١٦	٠.٠٢٨	٩٩٠	٢ ٢٠٠	
مرتد	١٧٥	٠.١٦٦	٢٠٠	٨ ٠٣٠	
عادة ما يكون محور الدوران عموديا على المدار ، بحيث يمكن اعتباره مائلا بزاوية ٨٢ وذو حركة مرتدة	٩٨	غير معروف	غير معروف	٨٠.٨	أورانوس
	٩٨	٠.٠٠٧	٣٧٠	١١٩	
	٩٨	٠.٠٠٨	٢٥٠	١٦٦	
	٩٨	٠.٠٠٢	٦٢٠	٢٧٢.٦	
	٩٨	٠.٠٠١	٥٠٠	٣٦٤.٥	
مرتد	١٣٩	٠.٠٠٠	٢ ٥٠٠	٢٢٠	نبتون
	صغير	٠.٧٦٠	١٨٠	٣ ٧٠٠	



الشكل (٢٠ - ٥) : خريطة للوجه الظاهر من القمر .
(الصورة من السلاح الجوي للولايات المتحدة لعام ١٩٦٢) .



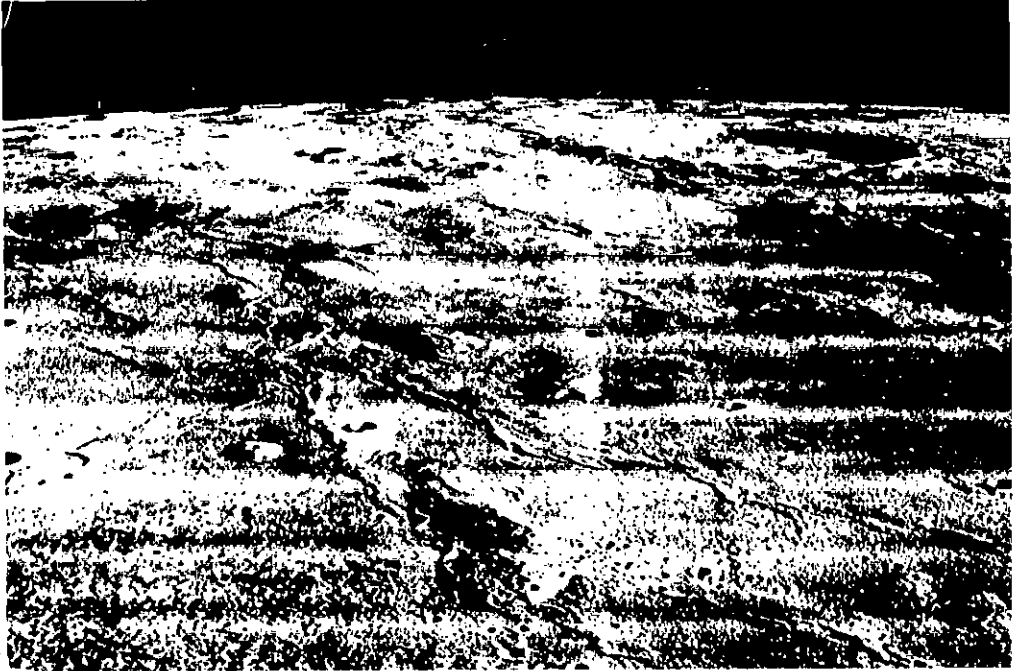
الشكل (٢٠ - ٦) : صورة لوجه القمر المحجوب والتي التقطتها المركبة الفضائية القمرية المدارية رقم ٣ من علو ٩٠٠ ميل ، باتجاه الجنوب من نقطة تبعد (٢٥٠) ميلا جنوب مدار المركبة القمرية . يبلغ قطر الفوهة البركانية السائدة ١٥٠ ميلا ويظهر على حافتها الانهيارات الداخلية كما هي الحال في العديد من الفوهات البركانية القمرية (الصورة من : NASA) .



الشكل (٢٠ - ٧) : يبين منظرا مائلا للفوهة البركانية كيبلر Kepler التي
النقطة المركبة المدارية رقم - ٣ من علو ٣٢٧ ميلا . تتميز بان لها تشععات تمتد في جميع
الاتجاهات . يعتقد بان التشععات نتجت عن مادة تفرقت خارجا من جراء التصادم . وتظهر هذه
على سطح القمر عندما يكون إدرا من على سطح الأرض . ويمكن أن تكون الخطوط الفاتحة
اللون والواقعة في أسفل الجزء الأيمن من الصورة مادة متشعبة كالفوهات البركانية الصغيرة
الامتدة على الخطوط المتشعبة من فوهة كيبلر . تظهر إحدى القباب الكثيرة في أسفل الصورة
ولها فوهة بركانية ، وهذا يعني أن القباب ربما كانت بركانية الأصل ويحتمل أن يكون الخط في
أسفل الصورة صدعا وأن الفوهات التي تكون جزءا منه تشابه الحداول المتواجدة في الاشكال
(٢٠ - ١٠) و (٢٠ - ١١) . (الصورة من : NASA) .

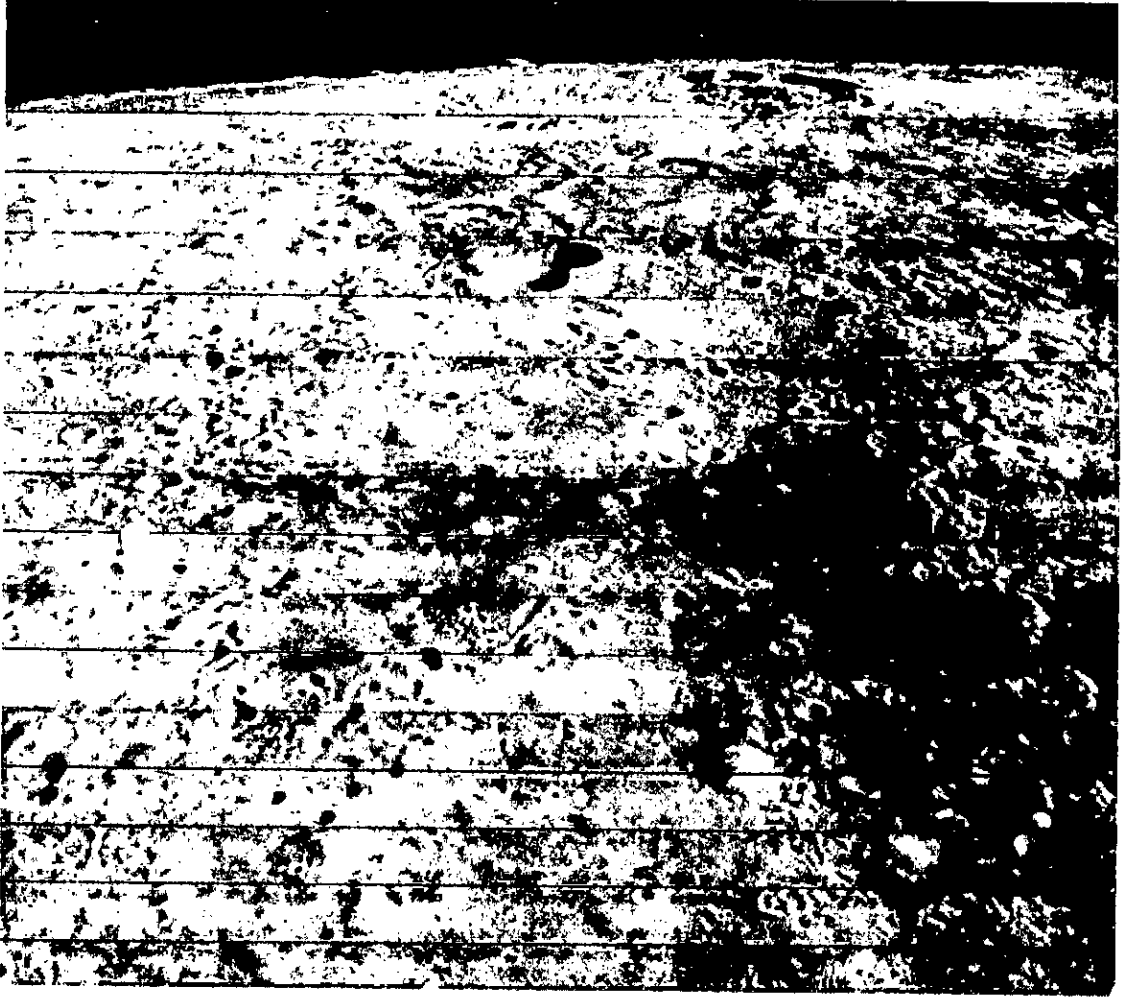
ويمكن مشاهدته من سطح الأرض عندما يكون القمر بداراً فتبدو أخف إضاءة من بقية سطحه . وتغطي التشعيعات فوهات بركانية قديمة ذات فوهات بركانية صغيرة وحادة وحديثة أكثر من المحيطة بها . وتكون الفوهة البركانية الحديثة في أماكن معينة خطوطاً شعاعية على هيئة صفوف تؤدي إلى الفوهة البركانية الرئيسية ، وبذلك ترجح أصلها إلى ارتطام المادة المقذوفة بعيداً على الفوهة الرئيسية .

إن الأدلة على وجود نشاط بركاني على سطح القمر عديدة . فقد سجلت عربة الفضاء الأمريكية سيرفيير الخامسة (٢٨) صخوراً سطحية ذات تركيب



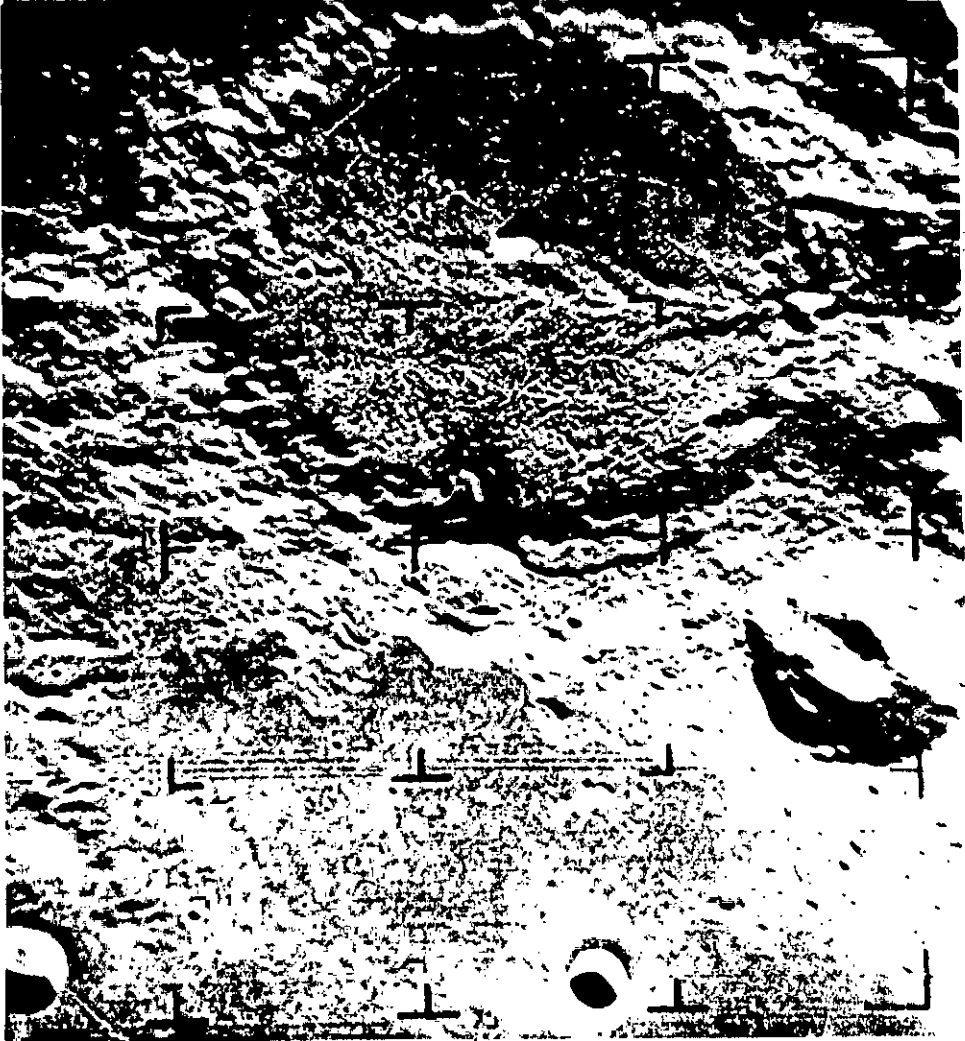
الشكل (٢٠ - ٨) : يبين صفاً من القباب بالقرب من الفوهة البركانية «أريوس» . يتراوح قطر القبة الواحدة ما بين (٢ - ١٠) ميلاً وارتفاعها ما بين (١٠٠ - ١٥٠٠) قدماً . فالكثير منها لها حفر pits في أعلاها وبذلك تشبه البراكين . يعتقد بأن الحواف البارزة في أسفل الصورة عبارة عن مظاهر بركانية وربما كانت قواطع عمودية متغذية (الصورة من : NASA) .

كيميائي مثل صخر البازالت ، وهو الصخر البركاني الغالب على سطح الارض .
وان كثيرا من الفوهات كانت بركانية الاصل ، وان معظمها قد تطور بالنشاط
البركاني . وتبين الاشكال (٧-٢٠) و (٨-٢٠) و (٩-٢٠) قبابا ربما كانت



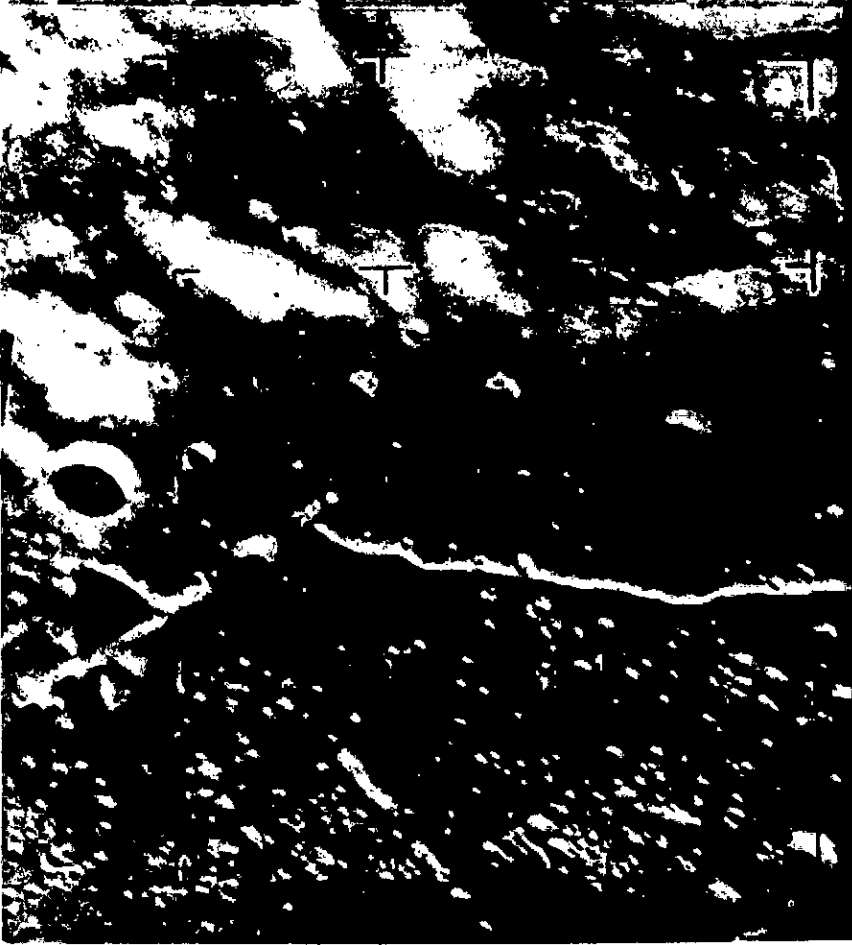
الشكل (٢٠ - ٩) : يبين منظرا بعيدا للفوهة البركانية كوبرنيكوس (Copernicus) ،
التقطتها المركبة القمرية المدارية رقم ٢ . يبلغ عرضها (٦٠) ميلا وعمقها ميلان ، وتحسب
حافتها بكتل قذفت بالتصادم . تظهر بالإضافة الى ذلك خطوط عليها فوهات بركانية صغيرة في
مقدمة الصورة تكثرت من جراء تصادم الكسارات التي قذفت من الفوهة الرئيسية وكذلك كتل
هابطة أو انزلاقات على جدار الفوهة الرئيسية . تشير القباب الى نشاط بركاني . أما الفوهة
المزدوجة في وسط الصورة والتي تظهر ايضا في الشكل (٢٠ - ١٣) فقد انقطعت في نفس
الوقت أيضا . (الصورة من : NASA) .

براكين أو لاكلوث (٢٩) أو تلالا من أصول أخرى ، دفنت جزئيا بالانسيابات البركانية (٣٠) أو بطبقات سطحية أخرى . ومن المحتمل أن توجد جميع هذه المظاهر على سطح القمر، إلا أن الأشكال (٧-٢٠) و (٨-٢٠) أظهرت عددا من القباب التي تميزت بوجود حفر أو فوهات على قممها ، مؤيدة بقوة وجود البراكين .



الشكل (٢٠ - ١١) : يبين احدى عشر صورة للفوهة البركانية ألفونسوس Alphonsus . اخذت على بعد (٢٨٠) ميلا من القمر . فالحافة القمر منتظمة والكاملة الاستدارة تشير الى انها اقدم من الفوهات البركانية الصغيرة الواضحة المعالم . يتميز داخلها بوجود بروز مركزي وعدد من الاودية المتفرعة .

وبعض الاودية الطويلة على سطح القمر ، المسماة بالجداول (٢١) ، تري
ايضا فوهات بركانية نشأت من براكين داخلية . ويبين الشكل (٢٠-١٠) نظام



الشكل (٢٠ - ١٠ ب) : أخذت على بعد (١١٥) ميلا من القمر ، وتوضح تفاصيل
الاودية بالقرب من الحافة الشرقية للفوهة البركانية . ينسب المادي الرئيسي الشمالي وكذلك
الغربي غير المتكامل الى الفوهات البركانية على غرضي أن الفوهات والاودية ربما كانت ذات
أصل بركاني . ويعتقد بأن الملىء الناعم والأسود في الفوهة بركاني ، في حين قد تكون الاودية
صدوعا أو شقوقا قد صاحبت النشاط البركاني . (الصورة من : NASA)

توزيع هذه الجداول في فوهة الفونسوس (٢٢) ، وتشير رؤيتها عن قرب الى انها تكونت من فوهات بركانية متقاربة الإبعاد ، وقد أطلق اصطلاح سلسلة الفوهات البركانية (٢٣) على هذه المظاهر ، ويرى الشكل (٢٠ — ١١) طبيعة هذه الأودية . وقد فسرت هذه الجداول أو الوديان على انها صدوع (٢٤) تركيز على امتدادها النشاط البركاني . والمادة السوداء في الفوهات البركانية الاقدم والاكثر استدارة ربما تكون من هذه المظاهر البركانية . وقد أوحى بهذه النقطة ان المناطق القريبة من الوديان كما في الشكل (٢٠ — ١٠ ب) فيها فوهات بركانية ارتطامية صغيرة اقل مما في بعض المناطق .

نامتلاء بعض الفوهات البركانية ، ربما بواسطة النشاط البركاني ، امر توحى به الفوهات البركانية الاقدم ، كما هو مبين في الشكل (٢٠ — ١١) ، وبالفوهات البركانية الحديثة كما هو في الشكل (٢٠ — ١٢) . ويرى الشكل (٢٠ — ١٣) منطقة صغيرة ، منخفضة ملئت كما يبدو بمواد بركانية . وبالرغم من أن مظاهر المقارنة في هذه الفقرة تختلف كثيراً في الحجم ، فان عمليات الماء ، مهما كان نوعها ، تبدو انه ينتج عنها سطوح متماثلة ، كثيرة الشبه بالماريات (البحار) . فالماريات أحدث من المناطق الكثيرة الفوهات ويبدو انها تدفن الفوهات الاقدم في بعض الاماكن ، ولهذا يعتقد بأنها ذات اصل بركاني ايضا .

والظهور (٢٥) المبينة في الشكل (٢٠ — ٨) هي من المظاهر البركانية الأخرى . ويبلغ ارتفاع الظهور التي تشبهها عدة مئات من الاقدام وتمتد لمئات من الاميال . وغالباً ما تكون مقيدة كلياً بالماريات . فأصلها غير معروف ، ومن ثم فقد اعتبرت بأنها نتجت عن استمرار هبوط الماريات الى أسفل . ومن المحتمل ، انها كانت مواقع القواطع (٢٦) التي غدت الانسيابات (٢٧) السطحية .

وتختلف طبيعة سطح طبقة القمر والعمليات السطحية كثيراً عن تلك المألوفة على سطح الأرض بسبب نقص الماء والغلاف الجوي . فتحدث الحركات الانزلاقية (٢٨) على جدران الفوهات البركانية المتحررة الاشكال (٢٠ — ٥) ، (٢٠ — ٩) ، (٢٠ — ١٣) . ويحدث بعض التجوية بالفعل لان

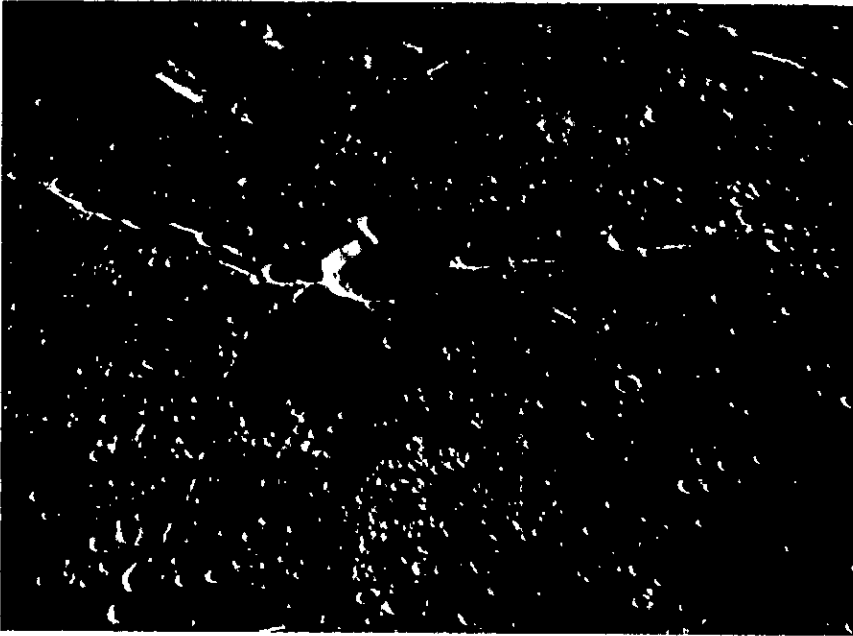
- 32. Alphonsus
- 33. Chain Craters
- 34. Faults
- 35. Ridges

- 36. Dikes
- 37. Flows
- 38. Downslope Movements

الفوهات الاقدم اكثر استدارة من الاحداث . ويعتقد بأن هذه الاستدارة قد حدثت من جراء تصادم النيازك الدقيقة (٢٩) .

وتتكون الطبقة السطحية للقمر من حبيبات دقيقة جدا لها خاصية تماسك الرمل الرطب (الشكل (٢٠ - ١٤)) . والجلاميد هي ايضا وفيرة (الشكل (٢٠ - ١٥)) . وتظهر فتحات في بعض من الجلاميد القريبة من مركز هبوط البعثات القمرية (٤٠) . ربما مشيرة الى فقايع غازية كالتي ترى بكثرة على الصخور البركانية .

ولقد درس ووصف الكثير من المظاهر القمرية . وتطور تاريخ تكوين المظاهر



الشكل (٢٠ - ١١) : يبين صورة واد في الفوهة البركانية Hyginus التسمي بالتنظتها المركبة القمرية المدارية رقم ٣ من علو (٣٩) ميلا . فعرض الوادي وقطر الفوهة يفترضان بأن ذلك مظهرا بركانيا ، وربما تكون الوادي نتيجة تقارب فوهات بركانية على طول الصدع . (الصورة من : NASA) .

المرئية من دراسة الصور . الا أن بحث معظم هذه المظاهر خارج عن نطاق الموضوع الحالي . ومن النقاط الهامة أن سطح القمر وعر وعليه كثير من الجبال ، وهذه الجبال تكونت على ما يبدو من التصادم والنشاط البركاني . لهذا ، فإن جبال القمر تختلف كثيرا عن جبال سطح الارض المطوية والمصدعة . والقمر ليس له مجال مغناطيسي ، وهذا يوحي بأن مركزه لا يشبه مركز الارض ، وقد دلت دراسات سلوكه الميكانيكي على أن له نواة صلبة . ويمكن أن تلعب نواة الارض السائلة دورا هاما في العمليات البنائية ، وبالتالي يمكن أن يوضح نقص السائل في نواة القمر وجود البنيات السطحية المختلفة عليه .

Meteorites

النيازك

النيازك اجسام فضائية تضرب سطح الارض . اما تكوينها وبعض مظاهرها الاخرى فقد بحثت سابقا وذلك بالنسبة لعلاقتها مع البنية الطبقيّة للارض . ويمتدّد بأن نيازك الحديد - والنيكل تشبه في تكوينها نواة الارض ، كما تشبه النيازك الحجرية تكوين الستارة الارضية (٤١) ومن الجوانب الهامة في ما نعرفه عن النيازك أن ما يزيد على (٩٠٪) مما نشاهده منها ساقطا يتكون من النيازك الحجرية ، الا أن ثلث الموجود الذي لم يشاهد ساقطا من النوع الحجري . وسنبحث هنا بعض مظاهر النيازك فقط ، في حين يمكن ايجاد الكثير من المعلومات عنها في المراجع في نهاية هذا الفصل .

تتراوح نماذج (٤٢) النيازك من رماد ناعم الى (٦٠) طنا . أما النيازك التي انتجت فتحات ارتطام كبيرة على سطح الارض فقد كانت أكثر بكثير ، وربما تزن مئات أو آلاف من الاطنان (الاشكال (٢٠-١٦) و (٢٠-١٧)) . ويمكن أن تسبب موجة الصدمة الناتجة من ارتطامات كهذه تحولا في الصخور بالاضافة الى تشقيقتها . وتتكون بهذه الطريقة قلة من المعادن تحت ضغط عال جدا وهي لا توجد الا على ما يحتمل انه فوهات ارتطام . ويقل عرض فوهات النيازك على سطح الارض عن (١٠) أميال ، ومع ذلك ، فإن قطرها على سطح القمر أكثر من (١٥٠) ميلا . وربما توجد فوهات كبيرة كهذه غير منظورة على سطح الارض . ونظرا لان كثيرا من النيازك الاصفر لا تتحمل الحرارة المتولدة من الاحتكاك اثناء عبورها



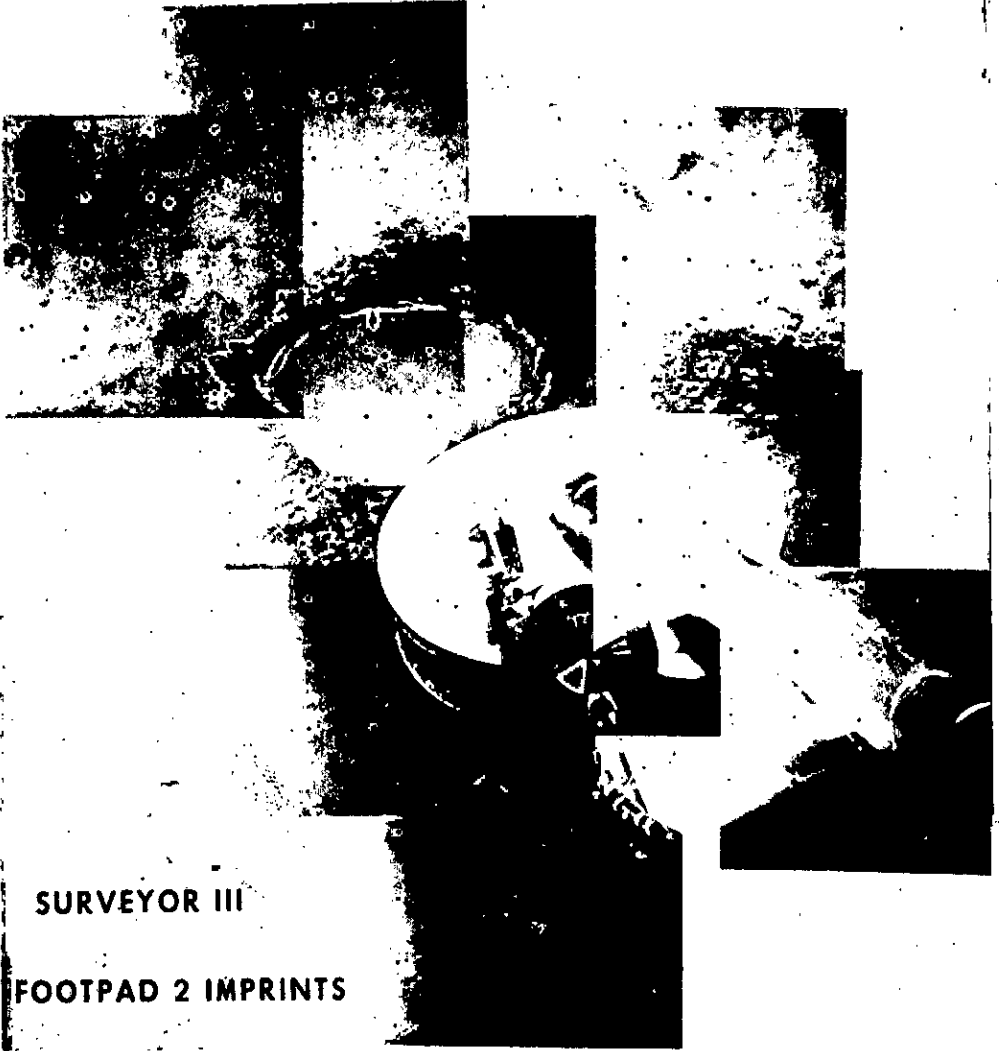
الشكل (٢٠ - ١٢) : يبين الحوض الشرقي *Oriental Basin* الذي النقطة المركبة الفضائية المدارية رقم - ٤ . يقع طرف هذا الحوض على الحافة الغربية من الوجه المرئي للقم . فالجرف الخارجي الدائري والذي يمثل جبال كوربيليرا *Cordillera* التي ترتفع الى عشرين الف قدم أعلى من المناطق المحيطة به ويبلغ قطره (٦٠٠) ميلا . ويغطي هذا وفي اتجاه قطري من الجرف الدائري بغطاء خشن الحبيبات سطح فوهة بركانية قديمة . ان الحوض حديث التكوين ولم يملا داخله بعد بمخلفات النشاط البركاني وكذلك الجبال فهي حديثة وحادة في المظهر ، في حين ان الاحواض والفوهات البركانية القديمة كما في الاشكال (٢٠-هـ) و (٢٠ - ١٠) غالبا ما تكون دائرية وقد امتلأت جزئيا بالمخلفات البركانية . النقطة الصورة من علو (١٦٩٠) ميلا . (الصورة من : NASA) .

الغلاف الجوي الارضي فانها تولد شهباء او مرقعة او تسقط نجوما هابوية . وقد قدر ان ما بين (١٠٠٠ - ١٠٠٠٠٠٠) طن من النيازك يسقط سنويا على سطح الارض .

ويعتقد بان نشأة النيازك كانت متزامنة مع بقية مجموعة النظام الشمسي

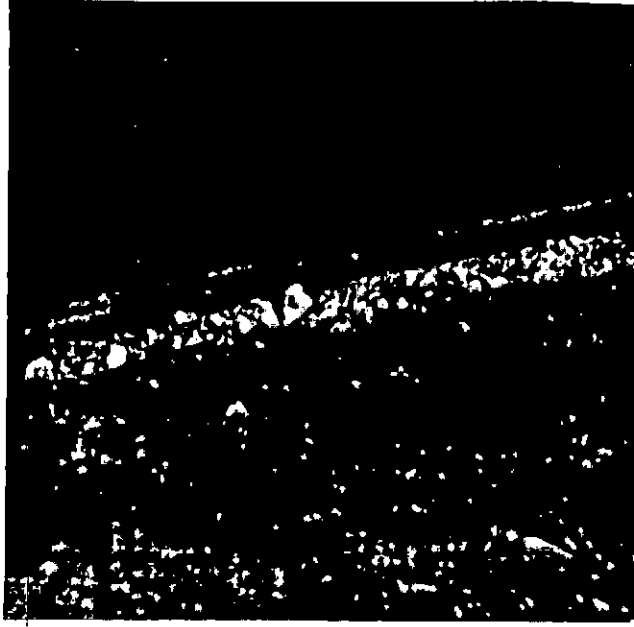


الشكل (٢٠ - ١٣) : يبين منظرا قريبا من كوبرنيكوس النقطة المركبة الفضائية المدارية رقم ٢ ، وتظهر في مقدمة الصورة تضاريس هوموكي Hummocky الذي قذف من الفوهة البركانية . يمكن ملاحظة تفاصيل انزلاق الحافة ، فيبلغ ارتفاع البروزات المركزية في الفوهة البركانية (١٠٠٠ قدم ، في حين تؤولف المساحة السفلى من يسار مقدمة الصورة صدعا ملينا بزوايب بركانية حديثة . (الصورة من : NASA كما هو الحال في صورة الشكل (٢٠ - ٩) .

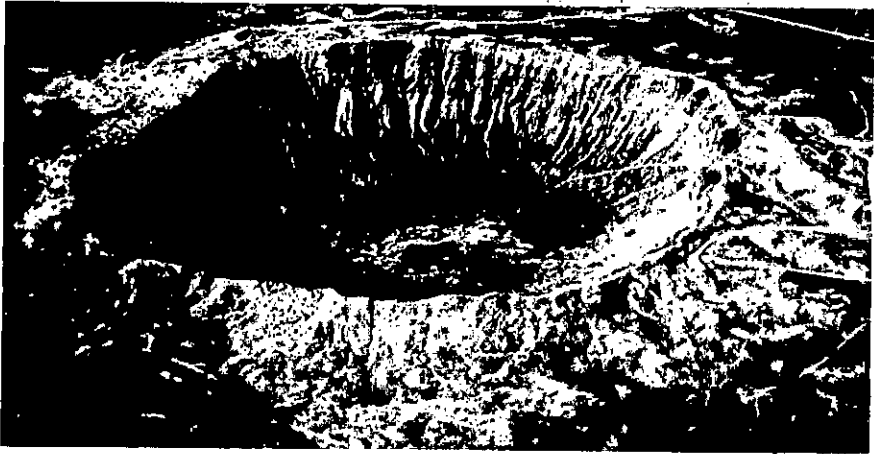


الشكل (٢٠ - ١٤) : يبين صورةا فسيفسائية التقطها جهاز المسح الفضائي رقم ٢ .
ظهرت طبعة مزدوجة لقدم المركبة نتيجة قفزها عند الهبوط . ويظهر في مواقع شمسية اخرى
نظام الشكل السداسي عند اسفل طبعة قدم المركبة ، مشيرا بذلك الى أن مواد السطح
تتكون من حبيبات دقيقة جدا . وينتج عن تلائق هذه الحبيبات ما يشبه الحمى . فلون المادة
الحبينة التكوين اكثر قتاما من السطح) . (الصورة من NASA) .

(ستبحث في البند التالي) . وبالتالي فانها تستخدم لتأريخ تكوين مجموعة النظام الشمسي
وكنماذج لبنيات سطح الارض . والنيازك عبارة عن قطع من اجسام ضخمة .
وهذا يتضح ان الكثير منها له بلورات خشنه مما يتطلب تبريدا بطيئا لا يمكن حدوثه

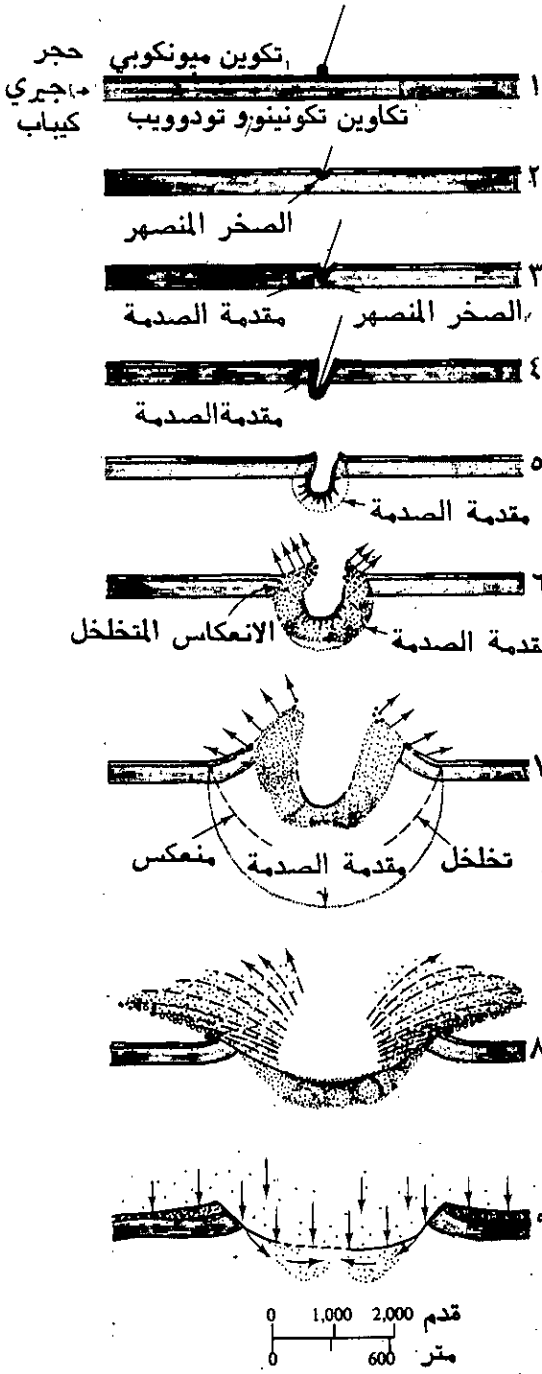


الشكل (٢٠ - ١٥) : يري جلاييد على سطح القمر في منطقة Oceanus Procellarum
بالتقرب من مركز هبوط جهاز المسح الفضائي رقم ١ . فالخط المكون من الجلاييد يري الحافة
القريبة من الفوهة البركانية والتي بلغ قطرها عدة مئات من الأباردات (الصورة من : NASA)



الشكل (٢٠ - ١٦) : يبين فوهة نيزكية في ولاية أريزونا . حيث أنه يندر وجود فوهة
كهذه جيدة الحفظ في مناخ رطب . (الصورة من Yerkes Observatory)

الشكل (٢٠ - ١٧) : يبين تخطيطا شكليا لمتتابع احداث تكوين فوهة بركانية نيزكية في ولاية اريزونا كما يلي :



- ١ - اقتراب النيزك بسرعة ١٥ كم / ث .
- ٢ - دخول النيزك الارض مسببا صهر وتسطيع الصخور الامامية ، وبالضغط والانسياب الجانبي انتقلت الصدمة النيزكية الى الخلف .
- ٣ - انعكست الموجة المتخلخلة الى ما وراء النيزك الذي ما زال يتحرك بسرعة ٥ كم / ث في داخل الارض ، ان معظم الطاقة قد تحولت لصهر الصخر المضغوط تحت النيزك .
- ٤ - انحرف ذب الصخر المنصهر والنيزك المبتد جانبا على طول ممر الإختراق ، ثم اصبح النيزك مركبة liner ذات تجويف سريع .
- ٥ - تنتشر الصدمة بعيدا عن التجويف الذي يتهدد ويصهر ويصدم الصخور بعنف ، ثم تطلق المادة النيزكية الى الكتلة المنحركة خلف مقدمة الصدمة .
- ٦ - تكون صدفة من الصخر المكتر مع خليط من قطع من الصخور المنصهرة ومادة النيزك حول التجويف ، تنعكس الصدمة على هيئة موجة متخلخلة من سطح الارض ويصاد الزخم في المادة التي تعاو التجويف .
- ٧ - تصل الصدمة والموجة المتخلخلة المنعكسة الى الحد الذي تنقلب عنده الطبقات ، ثم ترمي المادة التي تقع خلف الموجة المتخلخلة بعيدا كذائف المتجنق .
- ٨ - تحافظ القطع المقذوفة من الفوهة على مواقع نسبية ، ما عدا تلك التي ترمي الى علو شاهق . فصخر الصدمة المكسر والمختلط مع مادة النيزك والصخر المنصهر قد أجهد على طول جميع جدران الفوهة ، في حين أن الجزء العلوي منها قد تمذف بعيدا .
- ٩ - رمت القطع المقذوفة على أرض منخفضة وتكونت بعكس النظام الذي قذفت به . واختلطت قطع الصخور المتدهورة مسن جدران الفوهة في مركزها . أما القطع التي رمت الى علو شاهق فتنتزل لاسفل مكونة طبقة من الفتات المختلط .

(اخذت الصورة من : E. M. Shoemaker in Part 18, Report of XXI International Geological Congress, 1960.

الا في اجسام كبيرة فقط . وكثير منها ، مع ذلك ، له تواريخ تبلورية معقدة . وكما هو موضح في الجزء التالي ، فان الارض طورت بناءها الطبقي بالانصهار بعد تكونها الاولي . والنيازك هي ايضا اجسام متباينة ، ولا يمكن أن يحدث مثل هذا الانصهار الا في اجسام كبيرة قادرة على توليد الحرارة اللازمة ، وهذا ايضا يوحي بأن النيازك ما هي الا قطع من اجسام ضخمة . ويعتقد عموما بأن النيازك



الشكل (٢٠ - ١٨) : صورة مذنب هالي Halley's (الصورة من : Mount Wilson and Palomar Observatories.

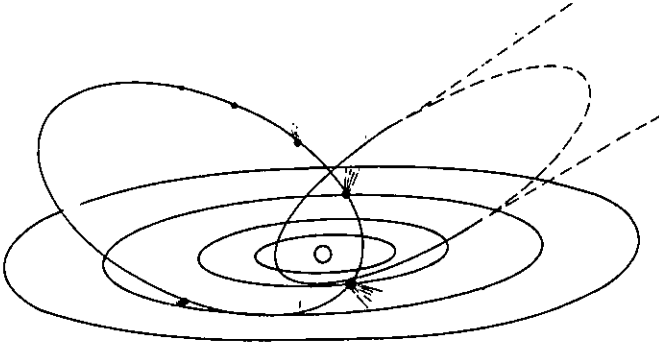
عبارة عن قطع نتجت من تصادم النجيمات (٤٢) . والنجيمات تضمسم حوالي (٣٠.٠٠٠) جسم صغير يتراوح قطرها من (٥٠٠) ميل الى ميل واحد . وهناك اعتقاد بوجود بلايين منها في حجم الغبار . وقد سجل الرادار مدارات نجيمات كثيرة تتوافق في أنها من اصل نجيمي . وعلى كل ، فبعض من اسراب النجيمات التي تمر بها الارض كل سنة موجودة حاليا في مدارات مذنبات ميمتة . والجسيمات الصغيرة من مادة النيازك ، المسماة بالنيازك الدقيقة (٤٤) ، ربما نشأت من اسراب نيزكية كهذه ومن ثم فاصلها يرجع الى المذنبات . ويعتقد بأن النيازك الدقيقة التي نشأت بهذه الطريقة او بطريقة اخرى تسبب تفتيتا للقمر . ومن الممكن أن يسبب تصادم الشعاع الكوني في الفضاء تكوين عناصر جديدة ، وأن كميات هذه العناصر هي سجل للزمن الذي مكثه الجسم في الفضاء . والانواع المتعددة من النيازك لها اعمار مختلفة واضحة ، ومن ثم فهي ايضا لها توارين معقدة .

Comets

المذنبات

ان المذنبات من اعظم المرئيات التي توحى بالخوف (الشكل (٢٠ - ١٨) ، فقد اعتبرت في الماضي نذر نحس ، وحاليا نعرف مادة تركيبها بصورة عامة ونستطيع التكهّن بظهورها ، ولكننا لا نعرف في الغالب شيئا عن الكيفية التي تكونت بها . والمذنبات كتل صغيرة جدا . فقد مر احدها خلال اقطار كوكب المشتري دون أي اثر ملحوظ ، ومرت الارض خلال ذنب مذنب في عصور التاريخ . وفي عام ١٩٠٨ حدث في سيبيريا انفجار هائل سمع من مسافة (٥٠٠) ميل وقد ظن أنه نتج من نيزك ما . ولكن بعد زيارة المنطقة في عام ١٩٢٧ ، لوحظ أن اشجار الغابة قد تقصفت لمسافة عشرة أميال ، الا انه لم يعثر على فوهة بركانية . ولذا يفترض بأن الانفجار قد يكون حدث نتيجة تفريغ غاز من مذنب لا نتيجة اصطدام بنيزك صلب . ويعتقد بأن المذنبات عبارة عن غاز متجمد معه بعض من جسيمات صغيرة جدا تماثل النيازك في تكوينها . وتسمى هذه النظرية أحيانا بنظرية الكرة الثلجية القذرة (٤٥) .

وعندما يبعد المذنب عن الشمس فانه يكون صغيرا جدا ، قد لا يتجاوز قطره (١) ميل . ويمكن رؤيته على هذه المسافة من خلال أشعة الشمس التي تنعكس عنه . وعندما يكون قريبا من الشمس ، فان الاشعاعات الشمسية تصبح (تذيب) بعضا من الثلج وتؤين بعضا من الغازات المتولدة ، جاعلة المذنب أكثر وضوحا . وهكذا ، فان المذنبات تتفكك بالقرب من الشمس وتختفي بعد بضعة مرات من مرورها على مقربة من الشمس . ويمكن رؤية أطياف الماء وثنائي أكسيد الكربون



الشكل (٢٠ - ١٩) : يري النظام الشمسي لبعض مدارات المذنبات المحتملة ، فيظهر المذنب على مدار واحد . يلاحظ دائما اتجاه الذيل بعيدا عن الشمس وكبر حجم المذنب عندما ترتفع درجة حرارته . أما المدارات الأخرى فتظهر على هيئة مدارات بيضاوية .

وغاز الميثان والامونيا أثناء عملية التفكك . وقد يصل عند هذه المرحلة متوسط قطر رأس المذنب الى (٨٠٠٠٠ ر.م) ميل ، وهو يتكون غالبا من غاز خفيف جدا . تدفع الرياح الشمسية ، التي ستدرس في البند التالي ، هذا الغاز بعيدا عن الرأس فيكون ذيلا يصل طوله الى ٥٠ مليون ميل . وهذه هي المرحلة المرئية من المذنب وهي تحدث فقط عندما يكون قريبا من الشمس . ومن الأمور الهامة أن الرياح الشمسية تدفع الذنب بعيدا عن الشمس دون ما اعتبار للاتجاه الذي يتحرك المذنب فيه . ومعظم المذنبات لها مدارات بيضاوية ، وهذا يوضح سبب تكرار ظهورها على فترات . وكما هو الحال في الكواكب السيارة ، فان الشمس تقع في إحدى بؤرتي المدار البيضاوي فإذا كان المذنب بعيدا عن الشمس فهو لا يرى لصفرة . وبعض المذنبات لها مدارات تظهر فيها ثانية بعد مرور الاف السنين ، وبعض منها له مدارات اهليلجية فهي لا تعود أبدا (٢٠ - ١٩) .

ان اصل المذنبات غير معروف ، فهي قد تتكون على حافة النظام الشمسي أو



الشكل (٢٠ - ٢١) : يري صور التكتايت .

(ا) - تكتايت طبق الاصل من الهند الصينية .

(ب) - تكتايت حقيقي (الى اليمين) قورن مع تكتايت صناعي تكون في نفق ذي سرعة هوائية

عالية اقيم بحيث يشابه شروط دخول التكتايت الى الغلاف الجوي الارضي .

تبين الخريطة الموقع الذي وجد فيه التكتايت .

الصورة (ا) من مؤسسة العلوم الطبيعية المتحدة في روتشستر بولاية نيويورك

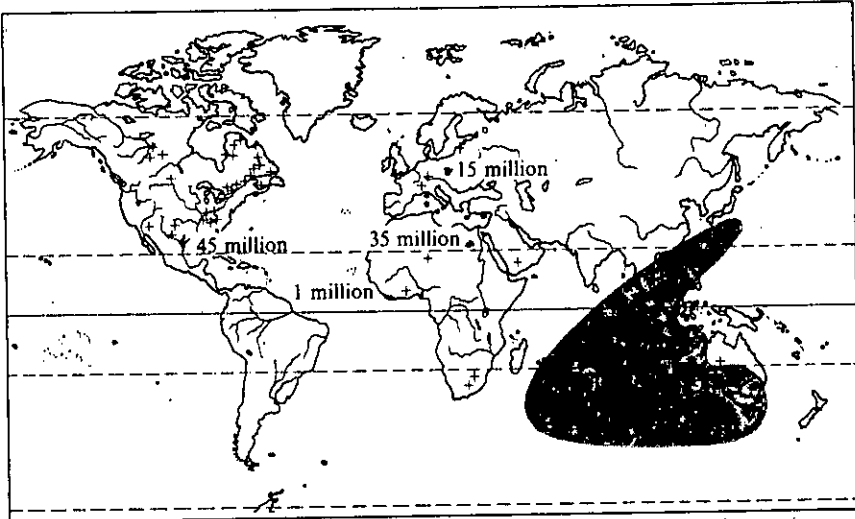
Rochester, N.Y ، و (ب) من NASA

ربما تأتي من خارجه . وتكوينها لا يشبه كثيرا المادة التي يعتقد بأن النظام الشمسي قد تكون منها (تبحث في البند التالي) . وهكذا فربما تكون عبارة عن قطع تركت من اصل النظام الشمسي .

التكتايت

Tektites

التكتايت قطع من زجاج يوجد على سطح الأرض وفي الرواسب الحديثة ، وهي غريبة عن الأماكن التي توجد فيها . وهي اجسام نادرة ومنتشرة في عدة ميادين مميزة (الاشكال (٢٠ - ٢٠) ، (٢٠ - ٢١) . وبعضها له اشكال غير طبيعية مما قد يتشكل بالديناميكية الهوائية ، كما يتشكل جسم منصهر انطلق بسرعة هائلة في الغلاف الجوي . ويمثل تركيبها الكيميائي تركيب القشرة القارية . اما اصلها فمشكلة ، ولذلك طرحت عدة نظريات . فتفترض احدى النظريات انها قطع قذفت من القمر بالارتطامات النيزكية . وتفترض نظرية اخرى بأنها مادة ارضية ازيحت بالارتطامات النيزكية . اما النظرية الثالثة فتقول بأنها ربما نشأت من المذنبات حيث ان التكتايت الدقيق (٢٦) قد وجد بالقرب من موقع



الشكل (٢٠ - ٢١) : يبين خريطة مواقع الفوهات البركانية التي نتجت من جـرد التصادم والفوهات المحتملة (علامة الصليب) . اما مواقع التكتايت فتظهر منقطة بالإضافة الى عمرها التقريبي .

ارتطام عام ١٩٠٨ المذكور في البند السابق . وان اشكالها وتوزيعها تتفق مع كل من النظريات السابقة .

وتوحي الدراسات الحديثة بأن بعض التكتايت على الاقل ربما كان له اصل ارضي فقد تبين أن اعمار البوتاسيوم ٤٠ والارجون ٤٠ متماثلة في كل منطقة . ونظرا لان الارجون ، غاز ، ويفقد في عملية الانصهار ، فهو يعين الزمن الذي حدث فيه الانصهار . اما اعمار الروبيديوم — والسترونشيوم للمناطق المدروسة فتماثل عمر الصخر الاساسي القريب من فوهات الرطم النيزكي . فهذه العناصر الاخيرة التي لا تشبه الارجون ، لا تفقد اثناء عملية الانصهار ،

ولقد وجد حديثا التكتايت الدقيق في رواسب عينات اللبائب الاسطوانية (٤٧) في مناطق عديدة من المحيط الباسيفيكي والهندي . ومن الطريف أن التكتايت الدقيق وجد في عينات اللبائب عند النقطة التي ينعكس عندها المجال المغناطيسي الارضي . وهذا يوحي بأنه مهما كان الحادث المسبب للتكتايت ، كالرطم النيزكي مثلا ، فانه سبب ايضا الانعكاس المغناطيسي . وقد قدرت كمية التكتايت الدقيق الكلي في المحيط الهندي والباسيفيكي بحوالي ربع مليون طن . اما المستوى الذي يتواجد عنده التكتايت الدقيق والانعكاس المغناطيسي فيقابل المستوى السسذي يحدث فيه تغير في حياة المستحاثات ايضا . وهذا امر سيؤخذ بعين الاعتبار في الفصل الثاني والعشرين .

أصل النظام الشمسي

Origin of the solar system

يعتبر اصل النظام الشمسي احدى المشاكل التي حاول الانسان أن يجد لها حلا منذ عدة سنوات . فلم تطرح حتى الان نظرية كاملة ومقنعة ، حيث أن هناك اعتراضات على جميع النظريات ، بما فيها النظرية المطروحة هنا . وتشير افضل النظريات المطروحة في الوقت الحاضر الى أن الكواكب السيارة والاجسام الفلكية الاخرى كانت متزامنة في نشأتها مع الشمس . وافترضت النظريات الاخرى

بأن الكواكب السهيرة تكونت من مادة نزعَت من الشمس الحالية ، على الغالب بجاذبية نجم آخر مر بالقرب منها . وتشير الاعتراضات الفيزيائية العديدة على هذه النظرية الأخيرة الى استحالة حدوث ذلك . ويمكن نرد لمحة موجزة هنمنا عن النظرية الجديدة فقط .

يعتقد بأن النجوم تكونت اما من تكثف غبار كوني أو من غاز سحابة تسمى بالسديم (٤٨) ولعلها تألفت اساسا من الهيدروجين والهيليوم وربما كانت متجمدة على هيئة ثلج . ثم تم تكثفها الى حد كبير بعامل التجاذب . ويؤدي التكثف الى ارتفاع درجة الحرارة ، فعند وصولها الى درجة حرارة كافية ، تبدأ التفاعلات النووية وتبدأ النجمة الجديدة باشعاع طاقة .

ويعتقد بأن الكواكب قد تكونت بطريقة مماثلة اثناء نشأة الشمس . ومن المحتمل أن يكون الغاز قد اخذ يدور اثناء التكثف بسبب السرعات الاولية للجسيمات المتجمعة مع بعضها . وكلما زاد التكثف ، أصبح الدوران اكثر انتظاما لاختفاء السرعات العشوائية . وفي النهاية ، تسطحت السحابة وأصبحت على هيئة قرص يتركز معظم كتلته بالقرب من المركز . ثم أدت زيادة التقلص والتسطح الى عدم استقرار القرص ، فتكسر الى عدد من السحب الصغيرة . وكانت جميع هذه السحب في مستوى واحد . ثم حدث تكثف في كل من هذه السحب أدى الى تركز العناصر الثقيلة في المركز . ونظرا لان السديم له تقريبا نفس تركيب الشمس ، فان الكواكب السالفة (الام) (٤٩) قد كانت محاطة بأغلفة من الهيدروجين والهيليوم . وعند هذه المرحلة فان التكثف قد دفع درجة حرارة الشمس السالفة (الام) الى نقطة بدأت معها التفاعلات النووية . فتأين الجزء المتبقي من السديم بالاشعاعات الشمسية ، وتفاعلت هذه الجسيمات المتأينة مع المجال المغناطيسي الشمسي ، فانخفضت بذلك كمية الحركة الزاوية للشمس (٥٠) . وهكذا ، فقد هبطت الشمس الى محورها الحالي البطيء السرعة ، واكتسبت الجسيمات المنتشرة في غبار السحابة طاقة . وكنتت الجسيمات المتأينة بالاشعاع الشمسي بعيدا غبار الغاز المتبقي المحيط بالشمس والكواكب بنفس الطريقة التي بها يزيح الاشعاع الشمسي ذنب المذنب بعيدا عنها بغض النظر عن اتجاه

48. Nebula

49. Ancestral Planets

50. Sun's Angular Momentum

الجدول (٢٠ — ٣) : يبين العناصر الكيميائية الكونية.

العنصر	العدد الذري	الوزن الذري التقريبي	الرقم النسبي للذرات	النسبة المئوية للذرات
هيدروجين	١	١	٢٥	٨٦.٦٤
هيليوم	٢	٤	٨٠٠	١٣.١٦
أكسجين	٨	١٦	٢٥	٠.٩
نيون	١٠	٢٠	١٤	٠.٥
كربون	٦	١٢	٩.٣٠٠	٠.٣
نيتروجين	٧	١٤	٢٤٠٠	٠.٠٨
سيلكون	١٤	٢٨	١٠٠٠	٠.٠٣
ماغنيسيوم	١٢	٢٤	٩١٠	٠.٠٣
كبريت	١٦	٣٢	٣٨٠	٠.٠١
أرجون	١٨	٤٠	١٥٠	٠.٠٠٥
حديد	٢٦	٥٦	١٥٠	٠.٠٠٥
المنيوم	١٣	٢٧	٩٥٠	٠.٠٠٣
كالسيوم	٢٠	٤٠	٤٩٠	٠.٠٠٢
صوديوم	١١	٢٣	٤٤٠	٠.٠٠٢
نيكل	٢٨	٥٩	٢٧٠	٠.٠٠٠٩
فوسفور	١٥	٣١	١٠٠	٠.٠٠٠٣
كروم	٢٤	٥٢	٧٨٠	٠.٠٠٠٣
منغنيز	٢٥	٥٥	٦٨٠	٠.٠٠٠٢
بوتاسيوم	١٩	٣٩	٣٢٠	٠.٠٠٠١
كلور	١٧	٣٥	٢٦٠	٠.٠٠٠٠٩
كوبالت	٢٧	٥٩	١٨٠	٠.٠٠٠٠٦
تيتانيوم	٢٢	٤٨	١٧٠	٠.٠٠٠٠٦
فلور	٩	١٩	١٦٠	٠.٠٠٠٠٦
فناديوم	٢٣	٥١	٢٠	٠.٠٠٠٠٧
نحاس	٢٩	٦٤	٢٠	٠.٠٠٠٠٧
زنك	٣٠	٦٥	٢٠	٠.٠٠٠٠٧
ليثيوم	٣	٧	١٠	٠.٠٠٠٠٣
سترونشيوم	٣٨	٨٨	٠.٦	٠.٠٠٠٠٢
كريبتون	٣٦	٨٤	٠.٤	٠.٠٠٠٠١
سكانديوم	٢١	٤٥	٠.٣	٠.٠٠٠٠١

الجدول (٢٠ - ٣) - تابع

العنصر	المعد النظري	الوزن النظري التقريبي	الرقم النسبي للفرات	النسبة المئوية للفرات
جيرمانيوم	٣٢	٧٣	٠.٣	١.٠٠٠٠٠٠
بيريليوم	٤	٩	٠.٢	٧.٠٠٠٠٠٠
بورون	٥	١١	٠.٢	٧.٠٠٠٠٠٠
سيلينيوم	٣٤	٧٩	٠.٢	٧.٠٠٠٠٠٠
رصاص	٨٢	٢٠٧	٠.٢	٧.٠٠٠٠٠٠
زركون	٤٠	٩١	٠.١٤	
جاليوم	٣١	٧٠	٠.٠٩	
يتريوم	٣٩	٨٩	٠.٠٩	
روبيديوم	٣٧	٨٥	٠.٠٦	
بروم	٣٥	٨٠	٠.٠٤	
باريوم	٥٦	١٣٧	٠.٠٤	
تيلوريوم	٥٢	١٢٨	٠.٠٣	
زينون	٥٤	١٣١	٠.٠٣	
زرنك	٣٣	٧٥	٠.٠٢	
بولونيوم	٤٢	٩٦	٠.٠٢	
قصدير	٥٠	١١٩	٠.٠١	
بلاتين	٧٨	١٩٥	٠.٠١	
روثينيوم	٤٤	١٠٢	٠.٠٠٩	
كاديوم	٤٨	١١٢	٠.٠٠٩	
نيوديميوم	٦٠	١٤٤	٠.٠٠٩	
نيوبيوم	٤١	٩٣	٠.٠٠٨	
بلاديوم	٤٦	١٠٧	٠.٠٠٧	
ديسبروسيوم	٦٦	١٦٢	٠.٠٠٧	
يود	٥٣	١٢٧	٠.٠٠٦	
سيريوم	٥٨	١٤٠	٠.٠٠٦	
أربيوم	٦٨	١٦٧	٠.٠٠٦	
أوزميوم	٧٦	١٩٠	٠.٠٠٦	
سيزيوم	٥٥	١٣٣	٠.٠٠٥	
لانثانيوم	٥٧	١٣٩	٠.٠٠٥	
جادولينيوم	٦٤	١٥٧	٠.٠٠٥	
أريديوم	٧٧	١٩٣	٠.٠٠٥	
يتيريوم	٧٠	١٧٣	٠.٠٠٤	

الجدول (٢٠ - ٣) - تابع

العنصر	العدد الذري	أوزن الذري التقريبي	الرقم النسبي للذرات	النسبة المئوية للذرات
زنابق	٨٠	٢١٠	ر.٠٠٠٤	
فضة	١٠٧	١٠٨	ر.٠٠٠٣	
ثاليوم	٨١	٢٠٤	ر.٠٠٠٣	
بيزموث	٨٣	٢٠٩	ر.٠٠٠٣	
روديوم	٤٥	١٠٣	ر.٠٠٠٢	
أنتموان	٥١	١٢٢	ر.٠٠٠٢	
براسيوديميوم	٥٩	١٤١	ر.٠٠٠٢	
سماريوم	٦٢	١٥٠	ر.٠٠٠٢	
هوليوم	٦٧	١٦٥	ر.٠٠٠٢	
انديوم	٤٩	١١٥	ر.٠٠٠١	
يوروبوم	٦٣	١٥٢	ر.٠٠٠١	
هافنيوم	٧٢	١٧٩	ر.٠٠٠١	
تنغستن	٧٤	١٨٤	ر.٠٠٠١	—
ذهب	٧٩	١٩٧	ر.٠٠٠١	
تيريوم	٦٥	١٥٩	ر.٠٠٠٠٩	
ثوليوم	٦٩	١٦٩	ر.٠٠٠٠٩	
رينيوم	٧٥	١٨٦	ر.٠٠٠٠٥	
لوتيتيوم	٧١	١٧٥	ر.٠٠٠٠٤	
ثوريوم	٩٠	٢٣٢	ر.٠٠٠٠٣	
تنطالوم	٧٢	١٨١	ر.٠٠٠٠٢	
يورانيوم	٩٢	٢٣٨	ر.٠٠٠٠٠٨	
تيكنيتيوم	٤٣	٩٩	—	—
بروميثيوم	٦١	١٤٧		
بولونيوم	٨٤	٢١٠		
أستاتين	٨٥	٢١١		
رادون	٨٦	٢٢٢		
فرانكيوم	٨٧	٢٢٣		
أكتينيوم	٨٩	٢٢٧		
بروتاكتينيوم	٩١	٢٣١		
ثيبتونيوم	٩٣	٢٣٧		
بلوتونيوم	٩٤	٢٤٢		

الجدول (٢٠ - ٣) - تابع

العنصر	المعد الذري	الوزن الذري التقريبي	الرقم النسبي للذرات	النسبة المئوية للذرات
أمريكيوم	٩٥	٢٤٣		
كوريوم	٩٦	٢٤٣		
بيركليوم	٩٧	٢٤٥		
كاليفورنيوم	٩٨	٢٤٦		
آينشتاينيوم	٩٩	٢٥٣		
فيرميوم	١٠٠	٢٥٤		
مينديليفيم	١٠١	٢٥٤		
نوبيليوم	١٠٢	—		
لورانسيم	١٠٣	—		

حركته . فتكون نفس هذه الجسيمات المنبعثة من الشمس الاشعة الكونية واحزمة فان الن الاشعاعية (٥١) التي بحثت في الفصل الثاني . وتفقد الكواكب القريبة من الشمس بهذه الطريقة معظم موادها . وهي اصفر كثيرا واكثر كثافة من الكواكب البعيدة عنها . وكلما زاد تكثف الكوكب ، كلما زادت سرعة دورانه ، تماما كما تفعل المتزلقة اذ تزداد سرعتها عندما تضم يديها الى جسمها . وتفسر هذه النظرية العلاقة بين حجم وكثافة الكواكب ، وتوزيع كمية الحركة على النظام الشمسي وسبب دوران معظم الكواكب في اتجاه واحد .

وربما كان الحزام النجمي (٥٢) الموجود ما بين كوكبي المريخ والمشتري قد يكون نشأ من عدد من مراكز تجمع صغيرة لا من مركز منفرد ، اي على غرار الكواكب الاخرى . وان التصادم بين هذه الاجسام الصغيرة قد زاد في عددها الاجمالي ، فهي عبارة عن قطع نتجت من اجسام نيزكية كبيرة .

والاقمار القريبة من الكواكب تكونت بنفس الطريقة . فعندما تفقد الكواكب كثيرا من كتلتها الاصلية بسبب الاشعاع الشمسي ، فان التجاذب يقل ما بينها وبين اقمارها . وكنتيجة لذلك ، فان الاقمار تتحرك بعيدا عن الكواكب . ومن المحتمل ان يكون بعض من هذه القميرات (٥٣) قد هربت من كواكبها الاصلية وجذبته كواكب اخرى . ويمكن ان يعزى هذا التنقل الى الاقمار التي تدور في الاتجاه المعاكس وربما كان بلوتو مرة قمرا لنبتون . ومن المحتمل ان بعضا من هذه الاقمار الضالة قد جذبت نجيمات .

الجدول (٢٠ - ٤) : مقارنة ما بين مكونات القشرة الأرضية والارض المتصلبة والكون ، فارقام مكونات القشرة أكثر دقة وصحة من الارقام الاخرى . وستشرح مكونات الارض المتصلبة والكون في فصلي ١٢ و ٢٠ على الترتيب .

العنصر	العدد الذري	الوزن الذري التقريبي	الكمية بالنسبة المئوية	
			الارض المتصلبة	الكون
هيدروجين	١	١	—	٦١ر٠
هيليوم	٢	٤	—	٣٦ر٨
كربون	٦	١٢	—	٢٥ر
نيتروجين	٧	١٤	—	٠ر٨
أكسجين	٨	١٦	٣٠ر٠	١ر٠
سيليكون	١٤	٢٨	١٥ر٠	٠ر٦
المينيوم	١٣	٢٧	١ر٠	٠ر٠٦
حديد	٢٦	٥٦	٣٥ر٠	٠ر٠٢
كالمسيوم	٢٠	٤٠	١ر٠	٠ر٠٦
صوديوم	١١	٢٣	٥٧ر٠	٠ر٠٣
بوتاسيوم	١٩	٣٩	٠ر٧	٠ر٠٠٣
ماغنيسيوم	١٢	٢٤	١٣ر٠	٠ر٠٥
تيتانيوم	٢٢	٤٨	٠ر	٠ر٠٠٢
فوسفور	١٥	٣١	١٠ر٠	٠ر٠٠٦
منغنيز	٢٥	٥٥	٢٢ر٠	٠ر٠٠٨
نيكل	٢٨	٥٩	٢٤ر٠	٠ر٠٠٤
كبريت	١٦	٣٢	١٩ر٠	٠ر٠٢
كروم	٢٤	٥٢	٢٦ر٠	٠ر٠٠١
كوبالت	٢٧	٥٩	١٣ر٠	٠ر٠٠٢

وتنشر هذه النظرية كثيرا من ظواهر النظام الشمسي الاخرى . لقد كانت مكونات القشرة الأرضية نقطة بدايتنا في الفصل الثاني . وهذه يمكن بحثها الان بتوسع . وبين الجدول ٢٠ - ٣ المكونات التقديرية للكون ، وربما يكون هذا ممثلا لمكونات السديم الذي تكثف منه النظام الشمسي . ويلاحظ سيادة غاز الهيدروجين ، وان غاز الهيليوم يكون معظم الباقي ، وان جميع العناصر الاخرى تؤلف اقل من (١٪) من المجموع الكلي . ويعتقد معظم الفلكيين بأن الكون في الاصل قد تألف كلياً من غاز الهيدروجين ، وهو أبسط ذرة ، وان جميع العناصر الاخرى قد تكونت بالاتحاد مع ذرات الهيدروجين بواسطة عملية سميت

الصهر^(٥٤) ان هذا الصهر يحدث على درجات حرارة عالية ، ملايين من الدرجات داخل النجوم . ويعتقد بأن تطور العناصر يبدأ بتكثف سحابة غازية ، أي السديم ، مكونة من الهيدروجين . وينتج عن النجم المتكون طاقة وذلك من انصهار الهيدروجين ذرياً إلى هيليوم . وقد شرحت بعض التفاعلات المحتملة في الفصل الثاني من الكتاب . وعندما يزيد عمر النجم ، فإنه يصل إلى مرحلة يكون قد استنفذ فيها الوقود الذري تقريباً . وعند هذا الحد ترتفع درجة الحرارة كثيراً وتتولد طاقة من الهيليوم نتيجة تكون عناصر ثقيلة . فربما تتولد طاقة من النواة ، عند هذه المرحلة ، أسرع من إمكانية إشعاعها من سطح الأرض محدثة انفجاراً . ويمكن أن يفك الانفجار النجم ، إلى نجم نابض^(٥٥) (نجم لامع جداً وقصير الحياة) ، أو ربما يفقد مادته بطرق غير منظورة . وتاريخ النجوم الكامل معقد وغير معروف تماماً ، ومع ذلك ، فمن المعروف أن تاريخ أي نجم يعتمد إلى حد كبير على كتلته ، وأن النجوم الأكبر تتحرك خلال تلك الحلقة بسرعة أكبر بكثير من النجوم المتوسطة الحجم ، كشمسنا . وعلى أي حال ، فالنجم الذي يبدأ تكونه بالهيدروجين ينتج عناصر ثقيلة وينشرها في الكون . فالنظام الشمسي تكون من تكثف غبار سحابة ما احتوت على عناصر ثقيلة بالإضافة إلى الهيدروجين .

والعلاقة ما بين مكونات الكون ، وبين القشرة الأرضية واضحة . فالعناصر الخفيفة ، كالهيدروجين والهيليوم ، هي الأكثر وفرة ولكنها فقدت أثناء تكوين الأرض ، كما ذكر سابقاً . ويليهما الأكسجين وهو أهم عنصر متوافر في الكون ، وأكثر وفرة على القشرة الأرضية . أما العناصر الأخرى ممدونة في الجدول (٢٠-٤) .

Earth-Moon System

نظام الأرض والقمر

يعتقد بأن التفاعل بين كوكبي الأرض والقمر قد خفض من سرعة دوران الأرض الأولية ، وهذا التفاعل عملية مستمرة ، يزداد فيه طول اليوم . أما السنة ، التي هي مرحلة دوران الأرض حول الشمس ، فلا تتأثر لأنها تقدر بالمسافة الواقعة بين الشمس والقمر . وهكذا تتناقص عدد أيام السنة . فمعدل

سرعة انخفاض دوران الأرض الحالية يتراوح ما بين ثانية في اليوم في ١٢٠.٠٠٠ سنة إلى ٢ ثانية في اليوم في ١٠٠.٠٠٠ سنة . وهذا كاف لان يؤدي الى اخطاء ظاهرية اذا تورنت أزمنة الخسوف والكسوف وحسبت بهدلولات يومنا الحالي بالمقارنة بالسجلات القديمة . وقد ابتكرت وسيلة بارعة للتحقق من زيادة طول اليوم في التاريخ الجيولوجي الماضي . فبعض المرجان ينمو باضافة طبقات قريبة الشبه بطقات الاشجار . فالطبقات الرقيقة ، التي تنمو يوميا ، تنشأ ضمن الطبقات السنوية . الا ان هذه الطبقات اليومية لا يمكن تمييزها جيدا ، ومن ثم فان القليل الذي امكن عده يوحي بأنه في وسط العصر الديفوني (٥٦) اي منذ حوالي (٣٥٠.٠٠٠.٠٠٠) سنة ، كانت السنة تحتوي على ٤٠٠ يوم . واما في العصر البنسلفاني حوالي (٢٨٠.٠٠٠.٠٠٠) فكانت السنة تبلغ (٣٩٠) يوما . وهذه الارقام تتفق جدا مع الانخفاض المقدّر لسرعة دوران الأرض . وتري انواع اخرى من المستحاثات حلقات يومية وشهرية ، جزرية ومدية ، وسنوية ، ومن ثم يصبح من السهل جدا حساب التاريخ الاولي لنظام الأرض — والقمر من هذه الدراسات .

ويعزى انخفاض سرعة دوران الأرض الى السحب المدي (٥٧) القمري . فان الطاقة الكلية لنظام الأرض والقمر ثابتة ، بحيث ان القمر يكتسب الطاقة التي تفقدها الأرض . ويتحرك القمر بعيدا عن الأرض ، وعليه فان طول الشهر ، الذي هو مدة دورانه حول الأرض يزداد . وتبين الحسابات امكانية تساوي مدة دوران الأرض وزمن دوران القمر في النهاية ، بحيث ان جزءا واحدا من الأرض يكون دوما مواجهاً للقمر ، تماما كالذي يحدث حاليا حيث ان جزءا واحدا منه فقط يواجه الأرض . ويمكن اجراء حسابات مماثلة لحساب مكان ومدار القمر في الماضي . وتعتمد نتائج هذه الحسابات الى حد كبير على الفرضيات المطروحة . وهذا امر مؤسف اذ لولاه لامكن حل مشكلة أصل القمر وتاريخه الاولي .

لا يمكن تعيين أصل القمر ، فجميع النظريات المطروحة حتى الان عليها اعتراضات خطيرة . فالنظرية التي تقول بأن الأرض والقمر تكونا في وقت واحد على مركزين مختلفين من غبار سحابة قد سردت سابقا . والاعتراض الرئيسي على هذه النظرية يكمن في ان الأرض والقمر لا بد من ان يكون لهما مكونات واحدة

إذا ما تكوننا بهذه الطريقة ، إلا أن معدلي كثافتيهما النوعية مختلفان . فمعدل الكثافة النوعية للأرض تبلغ (٥٥) وأما بالنسبة للقمر فهي (٣٣) . ولقد سدرت فرضيات الأسر (٥٨) أيضا في جزء سابق، وخاصة بالنسبة لأقمار الكواكب الأخرى . وتؤيد بشدة بعض الحسابات الحديثة عن المدار الأولي للقمر فرضية الأسر هذه . وعلى كل حال ، إذا أسرت الأرض القمر ، فإن الطاقة المدارية (الطاقة الحركية) (٥٩) للقمر تكون قد رفعت درجة حرارة الأرض ، ربما إلى نقطة قريبة من انصهارها . وهذا حدث ليس له ما يسنده ضمن التاريخ الحراري للأرض . وهناك الكثير من الآراء الأخرى المقترحة ، لكن جميعها عليها اعتراضات فيزيائية . ومن المحتمل أن يمدنا وصول الإنسان للقمر بالكثير من الأدلة الحديثة في المستقبل القريب .

بداية تاريخ الأرض

Early history of the earth

التبلور الداخلي للأرض Crystallization of the earth's interior

أن عمر أقدم صخور القشرة الأرضية المحسوب بطرق النشاط الإشعاعي هو (٣٣) بليون سنة . وربما يقارب هذا الزمن الذي تكونت فيه القشرة القارية (٦٠) ، فمن المحتمل أن يكون عمر الأرض أكبر من ذلك . وتبلغ أعمار النيازك (٤٧) بليون سنة ، وهذا هو الزمن الذي تبلورت فيه . وكما ذكر في البداية ، فإننا نستعمل طرق يورانيوم — رصاص وثورיום — رصاص في تأريخ النيازك ، إلا أن التصحيح بالنسبة للرصاص الأصلي ما زال مشكلة . وقد أعطى أحدث تصحيح (٤٧) بليون سنة ، في حين أعطت أقدم الحسابات (٥٥) بليون سنة . ويعتقد بأن النيازك لها نفس أصل الأرض ونفس مكوناتها الداخلية . ومن ثم فإن الزمن المقدر للنيازك والبالغ (٤٧) بليون سنة ربما كان نفس الزمن الذي تبلور فيه داخل الأرض . وكما سيوضح قريبا ، يعتقد بأن هذا الحدث قد حصل في وقت

ما بعد تكوين الارض المتجانسة الاولى . اما كم مضى بعد ذلك فهو ما زال مشكلة . حجم الكوكب ربما يكون مهما في تعيين السرعة التي حصلت فيها اعادة التبلور وعلى اي سرعة فان مدى (٧) بليون سنة هو الزمن الذي تبلورت فيه اجسام النيازك واما النظام الشمسي بما فيه الارض فقد تكون قبل ذلك .

والارض ، في تكونها طبق الفرضية الموضحة اعلاه ، ربما كانت متجانسة تقريبا ، وباردة نسبيا . ثم ادى التقلص الى انبعاث حرارة ، وكذلك لا يسد وأن انشطار الاشعاعي ايضا قد ولد حرارة . ولا بد ان حرارة النشاط الاشعاعي هذه كانت اعظم كثيرا في الماضي منها في الوقت الحاضر بسبب كثرة المواد المشعة الموجودة على الارض (الجدول ٢ - ٧) . وسبب ذلك أنه بعد كل نصف حياة (٦١) يضيع نصف العنصر المشع اصلا . والمواد التي تضرب الارض كالنيازك قد تكون ايضا السبب في انبعاث حرارة محلية . وادى ارتفاع حرارة الارض الى انسهارها وبالتالي ، بدأت تتميز ، تحت تأثير الجاذبية ، مكونة لها وستارة ارضية وقشرة صلبة فائقتل المواد كالحديد والنيكل انصهرت وسارت باتجاه المركز . في حين انتقلت المواد السيليكاتية الاخف باتجاه الخارج . ثم تصلبت الستارة السيليكاتية من اسفل وباتجاه الخارج . اما اللب فلعدم قدرته على فقد الحرارة ، بقي سائلا . وربما تبلور داخل اللب . ان العناصر المشعة التي سببت معظم الحرارة — كاليورانيوم والثوريوم ، والبوتاسيوم — جميعها تحركت باتجاه الخارج . ونظرا لان هذه العناصر لها ذرات كبيرة تتلاءم مع سيليكات الحديد والمغنيسيوم ، فانها تبقى مع المادة المنصهرة طالما استمر التبلور من اللب وباتجاه الخارج . ويؤدي تركيز العناصر المشعة بالقرب من سطح الارض الى اشعاع حرارتها على السطح . اما اذا بقيت هذه العناصر في اعماق الارض ، فـان حرارتها ستكون قادرة على توليد انصهار .

فالبنية الطبقة الناتجة للارض لها مغزى جيولوجي عظيم . فسيولة الحديد في اللب يجعل المجال المغناطيسي الارضي ممكنا . وربما تكون حرارة اللب مسؤولة عن تيارات الحمل (٦٢) في الستارة . وكما لوحظ سابقا ، فان الكواكب الاخرى ليس لها مجالات مغناطيسية ، ولا حتى سلاسل جبلية . فالقمر خال من الجبال المطوية ، وهو جسم متجانس بمفهوم أنه لا يظهر له بنية طبقية كبنية الارض . وربما من المهم ان الارض اكبر الكواكب الداخلية ، ولهذا السبب ربما

كانت الوحيدة فقط التي لها مركز سنائل . وستكون الجيولوجيا السطحية على كوكب آخر مختلفة كثيرا عن الجيولوجيا السطحية للارض .

ويعتقد بأن التكوين الفعلي للارض قد بدأ منذ (٦٠٥) بليون سنة ، وربما اقرب الى (٦) بليون سنة . وقد تم التوصل الى هذا التقدير عن طريق رأيين على الأقل ، الا ان ايا منهما لا يعطيان رقما دقيقة مقبولة . وقد قدر عمر الشمس بـ (٦) بليون سنة . وهذا الرقم مبني على معرفة البنية النجمية (٦٢) وسرعة تولد الطاقة ، ولكن ليس بالامكان بحث الاسباب الفيزيائية المعقدة هنا . وهذا يضع حدا اعلى لعمر الارض ، حسب الاعتقاد بأن جميع النظام الشمسي قد نشأ متزامنا . أما الرأي الآخر فهو مبني على كمية الزمن اللازمة للصهر واعادة التبلور . وتبين ان الزمن المعقول لهذه العمليات يتراوح ما بين (١ - ١) بليون سنة ، ومن ثم فان هذا الرقم لا بد من اضافته الى رقم (٤٧) بليون سنة .

Origin of oceans

and atmosphere

أصل المحيطات

والغلاف الجوي

لقد بينا حتى الان الاحداث الاساسية ما بين تكون الارض قبل (٦٠٥) بليون سنة ، وزمن تبلور داخلها منذ (٤٧) بليون سنة . وتبدأ الجيولوجيا التقليدية بأقدم قشرة ارضية ، وعمرها (٣٣) بليون سنة ولا نعرف الانزرا قليلا عن الحوادث التي جرت في الفترة ما بين (٤٧ - ٣٣) بليون سنة . فقد بدأت القارات على الاقل بالتكون لان الرواسب المتحولة وهي اقدم صخور القشرة الارضية لا تختلف كثيرا في مظهرها عن الصخور الاحداث منها . ومنذ ان تكونت أوائل القارات وذلك بطريقة غير معروفة ، فان القشرة الارضية ربما بقيت مثل تلك المتكونة حديثا ، الا اننا لا نعرف شيئا من تفاصيل ذلك . ثم ان حوادث اخرى حدثت اثناء هذا الوقت . فقد نقصت سرعة دوران الارض الاولى ، كما ذكر سابقا ، وبدأ ظهور الغلاف الجوي والمحيطات . وقد نشأ الغلاف الجوي والمحيطات منذ ان تصلبت الارض الا ان ذلك معروف بصفة عامة فقط . وبالرغم من ان الارض والشمس قد تكونتا من السديم المتماثل في المكونات ، فان المكونات الاجمالية للارض تختلف حاليا عن مكونات الشمس . وبناء عليه ، فمن الواضح انه بعد مضي بعض

الوقت على التكوين الاولى للارض من تجمع غبار سحابة (سديم) فانها فقدت كثيرا من غطائها الغازي السميك الاصلي المؤلف اساسا من الهيدروجين والهيليوم . ويجب ان نشير الى ان ضياع هذه الغازات تم بعمليات لا تعمل حاليا لان الارض تنفق في الوقت الحاضر قليلا جدا من غلافها الجوي . فقد ضاع كثير من غاز السحابة الاصلي عندما تأينت بالاشعة الشمسية ثم انسحبت بعد ذلك بعيدا عن طريق تحرك الجسيمات المتأينة عن الشمس ، كما ذكر اعلاه . ومن المحتمل ان يكون الغاز المتبقي القريب من الارض قد فقد كنتيجة لسرعة دوران الارض ، التي ذكرت في البداية ، او ربما كنتيجة لارتفاع الحرارة التي صهرت الارض وكونت اللب والستارة .

ومن الصعب اعادة بناء الخطوة التالية في تطور الغلاف الجوي الاولى ، الذي ربما تألف من غازات كالامونيا ، والميثان والبخار . وهذه هي مكونات الاغلفة الجوية للكواكب الكبيرة كالمشتري مثلا (حيث يوجد الماء في صورة ثلج مع وجود غاز الهيدروجين والهيليوم ايضا) . ففي حالة الكواكب الكبيرة ، يعتقد بأن مصدر هذه الغازات هو غبار السحابة الاولى (السديم) . ونظرا لان الارض اقرب الى الشمس ، فانها فقدت عند هذه المرحلة غازات السحابة الاصلية الاولى ، ومع ذلك فان بقايا الغازات المتجمدة هذه التي تركت على الارض لا بد وانها انصهرت وتحررت اثناء اعادة صهر الارض اخيرا لتكون الغلاف الجوي هذا . فالدليل ضعيف جدا على وجود هذا الغلاف الجوي . فاذا وجد غلاف جوي كهذا على الارض ، فربما فقد بسرعة بسبب درجة الحرارة العالية . فالنشادر تكون قادرة على التحلل بسرعة بتأثير طاقة اشعة الشمس فوق البنفسجية (٦٤) والميثان يؤدي الى تثبيت الكربون في اوائل الصخور الرسوبية ، الا ان هذا لم يحدث . لقد تطور الغلاف الجوي الحالي اساسا من الانبثاقات البركانية (٦٥) فالبرودة ، ودوران الارض المتباطىء قد حفظنا هذه الغازات . فالميثان ، والنشادر ، والهيدروجين ، وبخار الماء تكون غلافنا جويا صالحا لبدء الحياة فيه ، ولكن كما تبين هنا ، فربما كانت درجة الحرارة عالية جدا في الوقت الذي كان للغلاف الجوي مثل هذه المكونات . ومن الممكن ان تتكون الحياة في غلاف مشتق من البراكين . وسيبحث اصل الحياة مفصلا فيما بعد . فلنعد الى هدفنا الرئيسي ، فلن البراكين

الحالية تقذف أساساً بخاراً وثاني أكسيد الكربون ، ونيتروجين مع بعض الغازات الكبريتية ، ومن ثم فليس هناك مجال للاعتقاد بأن البراكين الأولية مختلفة عن الحالية . وهكذا تألف الغلاف الجوي من بخار ، وثاني أكسيد الكربون ونيتروجين . وتركز بعض من البخار عندما بردت الأرض ، وربما تكون أيضاً بعض من الأكسجين من تكسر البخار . ثم أعيد اتحاد الأكسجين مع الهيدروجين ليكون البخار . وأتى الأكسجين إلى الغلاف الجوي الحالي من التمثيل الضوئي للنبات بعد بدء الحياة ، والحياة ربما لم تبدأ إلا عندما أصبحت درجة الحرارة أقل من (٢٠٠ ف) . ويتألف الغلاف الجوي الحالي من (٧٨ ٪) نيتروجين و (٢١ ٪) أكسجين ، مع جميع الغازات الأخرى التي تؤلف حوالي ٠.١ ٪ . وربما يتبع ترتيب الغازات البركانية هذا النظام . وقد أصبح البخار ماء وغالبية غسي المحيطات ، أما النيتروجين فيوجد في الغلاف الجوي ، وأما ثاني أكسيد الكربون فقد تحلل جزئياً بالتحليل الضوئي إلى كربون يدخل في أجسام الكائنات الحية وإلى أكسجين وينتشر في الغلاف الجوي وجزئياً في الصخور الجيرية .

هذا التطور للغلاف الجوي يبدو معقولاً وجوهرياً، إلا أن كثيراً من المشاكل تظهر في حالة ما إذا وضع جدول زمني لذلك . فمنذ ثلاثة بلايين سنة والترسيب والتجوية على ما يبدو مستمران ، كالذي حدث في الزمن الجيولوجي الأخير ، ولقد درس الكثير من صخور هذا العصر الرسوبية والمتحولة . وتشير بعض مظاهر هذه الصخور القديمة جداً إلى أن الأكسجين المتوافر عندئذ ربما لم يكن موجوداً في الغلاف الجوي أثناء تكوينها . فقد عرفت أقدم المستحاثات في صخور يرجع عمرها إلى ما بين (١٧ - ٢١) بليون سنة . ووجدت مركبات كربونية ذات أصل عضوي في صخور عمرها حوالي (٢٥) بليون سنة . ولقد تبين أنه لزم (٢) بليون سنة للوصول إلى الكمية المتوازنة من الأكسجين الموجود حالياً في الغلاف الجوي . ومن المحتمل أن يكون هذا التوازن موجوداً منذ حوالي بليون سنة . فجميع ما ذكر يفترض بأن الحياة تكونت على الأرض منذ حوالي ثلاثة بلايين سنة أي بنفس الوقت الذي تكونت فيه القشرة الأرضية . وبالرغم من أنه لا يؤخذ كثيراً بهذا التقدير ، إلا أنه يعطي بعض الأفكار بالنسبة لتوقيت الحوادث الموصوفة سابقاً .

وتشير بعض مظاهر صخور العصر البريكامبري (٦٦) إلى وقت انتشار

الاكسجين . فمن غير المستطاع تكون خامات الحديد الطبقة البريكامبرية اذا كان الاكسجين متوفرا ، لان الحديد لم ينقل الى موقع الترسيب في صورة اكسيد ان وجود هذه الخامات ، على اي حال في صورة اكسيد ، اشارة الى احتمال توافر الاكسجين محليا في بعض الاوقات واتحاده مع الحديد . وهكذا فربما جذب الحديد الاكسجين ، ومنع بذلك تجمعه في الغلاف الجوي . فهذا النوع من خسام الحديد تكون ما بين (٢٦ و ١٧٠) بليون سنة ، حسب تأريخ النشاط الاشعاعي . ويشير النقص في خامات الحديد المطبقة الحديثة الى وجود الاكسجين الذي حال دون انتقال الحديد . فالدليل الايجابي على وجود الاكسجين في غلافنا الجوي الاول هو ظهور الطبقات الحمراء منذ حوالي (١٧٢) بليون سنة . وابتداء من هذا التاريخ ، وتحت ظروف مناخية معينة ، فان الحديد المؤكسد يلون بعض الصخور الرسوبية الفتاتية (٦٧) باللون الاحمر ، مشيرا الى توافر الاكسجين .

والدليل الاخر الذي يشير الى أن الاكسجين اصبح متوافرا في اواخر ازممنة العصر البريكامبري ظهور الصخور الجيرية التي تندر نسبيا في الصخور الاقدم . فقد خفض ظهور الاكسجين في الغلاف الجوي النسبة المئوية لثاني اكسيد الكربون فيه ، وبهذا سنحت الفرصة لترسيب الاحجار الجيرية في المحيط .

وان مرحلة اثبات تطور الانواع الراقية للكائنات الحية هي مظهر اخر لتجمع الاكسجين في الغلاف الجوي . فربما نشأت الحياة منذ اقدم من ثلاثة بلايين سنة ، ومنذ حوالي بليون سنة انتجت النباتات اكسجينا كافيا بالتمثيل الضوئي لدرجة انه توافر في الغلاف الجوي . وقد تحول بعض من هذا الاكسجين في الغلاف الجوي الى اوزون (٦٨) بتأثير اشعة الشمس فوق البنفسجية . ان اكسجين الغلاف الجوي العادي ثنائي الذرية ، O_2 ، حيث تشترك ذرتان منه في الكترونات لتكوين مدارات الكترونية خارجية ثابتة . ويشارك جزيء الاوزون الذي يحتوي على ثلاث ذرات اكسجين الكترونات . فالاوزون غير ثابت ، ويعود في النهاية الى الاكسجين العادي الثنائي الذرية . ويتطلب تكوين الاوزون امتصاص كثير من اشعة الشمس فوق البنفسجية التي لولاه لوصلت سطح الارض . فاشعة الشمس فوق البنفسجية ممتدة وتقتل معظم انواع الكائنات الحية اذا ما وصلت سطح الارض ، ومن ثم ، فلم تظهر الانواع الراقية من الكائنات الحية الا بعد ان تكونت طبقة الاوزون .

أسئلة

- ٢٠ — ١ دون مكونات النظام الشمسي .
- ٢٠ — ٢ كيف تختلف الكواكب الداخلية عن الكواكب الكبيرة ؟
- ٢٠ — ٣ بالرغم من الاحجام والكثافات المختلفة للكواكب ، فلماذا لا يمكن فصل أصل الأرض عن أصل النظام الشمسي ؟
- ٢٠ — ٤ كيف يمكن أن توضح الاعداد المختلفة من الاقمار لكل كوكب ؟
- ٢٠ — ٥ أي الكواكب يحتمل أن تتواجد عليها الحياة ؟ ولماذا ؟
- ٢٠ — ٦ ما هو أصل مظاهر سطح القمر ؟
- ٢٠ — ٧ كيف تختلف المذنبات عن النيازك ؟
- ٢٠ — ٨ كم يستغرق نزول النيازك الى الأرض ؟ وهل يعني ذلك نظرية مقبولة عن أصل الأرض ؟
- ٢٠ — ٩ تستخدم طرق (اليورانيوم — رصاص) و (الثوريوم — رصاص) لتاريخ النيازك بالرغم من وجود المصاعب في تصحيح الرصاص الاصلي . فلماذا لا تستخدم طرق انحلال اشعاعية أخرى ؟
- ١٠ — ١٠ فسر لماذا حدث الانصهار الاولي للأرض بعد تكوينها ببعض الوقت .
- ٢٠ — ١١ كيف تكونت بنية طبقات الأرض ؟
- ٢٠ — ١٢ متى تكونت أول حياة ؟
- ٢٠ — ١٣ وضع الخطوات التي يعتقد بتكون الغلاف الجوي فيها .

مراجع اضافية

PLANETS

- Ebbighausen, E. G., *Astronomy*. Columbus, Ohio: Charles E. Merrill Books, Inc., 1966, 134 pp. (paperback).
- Faul, Henry, *Ages of Rocks, Planets, and Stars*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1966, 109 pp. (paperback).
- Ohring, George, *Weather on the Planets*. Garden City, New York: Doubleday and Co., Science Study Series, 1966, 144 pp. (paperback).
- Sagan, Carl, and J. N. Leonard, *Planets*. New York: Life Science Library, Time, Inc., 1966, 200 pp.

MARS

- James, J. N., "The Voyage of Mariner IV," *Scientific American* (March, 1966), Vol. 214, No. 3, pp. 42-52. Mainly on the flight, not the results.
- Leighton, R. B., "The Photographs from Mariner IV," *Scientific American* (April, 1966), Vol. 214, No. 4, pp. 54-68.
- Öpik, E. J., "The Martian Surface," *Science* (July 15, 1966), Vol. 153, No. 3733, pp. 255-265.
- Sloan, R. K., "The Scientific Experiments of Mariner IV," *Scientific American* (May, 1966), Vol. 214, No. 5, pp. 62-72.

VENUS

- James, J. N., "The Voyage of Mariner II," *Scientific American* (July, 1963), Vol. 209, No. 1, pp. 70-84.

MOON

- Alfvén, Hannes, "Origin of the Moon," *Science* (April 23, 1965), Vol. 148, No. 3669, pp. 476-477.

- Baldwin, R. B., *A Fundamental Survey of the Moon*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1965, 149 pp. (paperback).
- Hibbs, A. R., "The Surface of the Moon," *Scientific American* (March, 1967), Vol. 216, No. 3, pp. 60-74.
- Runcorn, S. K., "Corals as Paleontological Clocks," *Scientific American* (October, 1966), Vol. 215, No. 4, pp. 26-33.
- Schurmeier, H. M., et al., "The Ranger Missions to the Moon," *Scientific American* (January, 1966), Vol. 214, No. 1, pp. 52-67.
- Shoemaker, E. M., "The Geology of the Moon," *Scientific American* (December, 1964), Vol. 211, No. 6, pp. 38-47.

METEORITES

- Dietz, R. S., "Astroblemes," *Scientific American* (August, 1961), Vol. 205, No. 2, pp. 50-58. Reprint 801, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Heide, Fritz, *Meteorites*. Chicago: Phoenix Science Series, The University of Chicago Press, 1963, 144 pp. (paperback).
- Mason, Brian, *Meteorites*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1962, 274 pp.
- Urey, H. C., "Meteorites and the Moon," *Science* (March 12, 1965), Vol. 147, No. 3663, pp. 1262-1265.

TEKTITES

- Barnes, V. E., "Tektites," *Scientific American* (November, 1961), Vol. 205, No. 5, pp. 58-64. Reprint 802, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Faul, Henry, "Tektites are Terrestrial," *Science* (June 3, 1966), Vol. 152, No. 3727, pp. 1341-1345.
- Glass, B. P., and B. C. Heezen, "Tektites and Geomagnetic Reversals," *Scientific American* (July, 1967), Vol. 217, No. 1, pp. 32-38.

EARLY HISTORY OF THE EARTH

- Abelson, P. H., "Chemical Events on the Primitive Earth," *Proceedings of the National Academy of Sciences* (June, 1966), Vol. 55, No. 6, pp. 1365-1372.
- Cloud, P. E., Jr., "Significance of the Gunflint (Precambrian) Microflora," *Science* (April 2, 1965), Vol. 148, No. 3666, pp. 27-35.
- Eglinton, Geoffrey, and Melvin Calvin, "Chemical Fossils," *Scientific American* (January, 1967), Vol. 216, No. 1, pp. 32-43.
- Kuiper, G. P., "Origin, Age, and Possible Ultimate Fate of the Earth," in *The Earth and Its Atmosphere* (D. R. Bates, ed.), pp. 12-30. New York: Science Editions, Inc., 1961, 324 pp. (paperback). (This book was also published under the title, *The Planet Earth*. London: Pergamon Press, 1957.)
- Lansberg, H. E., "The Origin of the Atmosphere," *Scientific American* (August, 1953), Vol. 189, No. 2, pp. 82-86. Reprint 824, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Urey, H. C., "The Origin of the Earth," in *Nuclear Geology* (Henry Faul, ed.), pp. 355-371. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1954, 414 pp. This paper reprinted in J. F. White, (ed.), *Study of the Earth*, pp. 286-401. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1962 (paperback).

الفصل الحادي والعشرون التاريخ الجيولوجي للاردن

Historical Geology of Jordan

حقب الحياة القديمة - الباليوزويك

النظام الكامبري

النظام الاوردوفيشي

النظام السيليوزي

النظام الديفوني

النظام الكربوني

النظام البيرمي

حقب الحياة المتوسطة - الميزوزويك

النظام الترياسي

النظام الجوراسي

النظام الكريتاسي

أنساق الكريتاسي الاعلى

انساق الكريتاسي الاسفل

وحدة الحجر الجيري العقدية ، وحدة الحجر الجيري الاكنويدية ،

وحدة الحجر الجيري الكتلية ، وحدة الحجر الجيري السليسية ،

وحدة الفوسفورايت ، وحدة المارل الطباشيري ،

الصخور البركانية في الحقبة الوسطى

حقب الحياة الحديثة - السيزوزويك

وحدة الحجر الجيري الصوانية

الكونجلوميرات الصوانية

متبخرات اللسان

تكوين الشاغور

تكوين اللسان

الصخور البركانية في الحقبة الحديثة

اسئلة

مراجع اضافية

صورة لوائي رم. وترى صخور البريكامبري الجرانيتية في القاعدة وفوقها صخور الكامبري

الرملية مع توافق واضح. (الصورة من عبدالقادر عابد).

أرضية رملية أركوزية . وتتبادل الكونجلوميرات التي تتراوح من كتلية الى سميكة التطبيق مع احجار رملية أركوزية جيدة التطبيق وقليلة التماسك ووردية الى بنية اللون . ويتميز هذا التتابع بأنه غير مطوي لكنه شديد التصدع والتزعزع ويتواجد بسمك ٢٠٠م على النهاية الجنوبية الشرقية من البحر الميت . ويخترق هذا التتابع عدة قواطع عامودية بازلتية رمادية اللون وبورفيرية مع الغلم إن هذه القواطع لم تمتد لتخترق صخور الكمبري العلوية ، وتشكل صخور البريكامبري هذه الاساس الذي توضع عليه آلاف الامتار من الصخور الرسوبية التي قسمت الى ثلاثة احقاب جيولوجية وهي حقب الحياة القديمة (الباليوزويك) ، وحقب الحياة المتوسطة (الميزوزويك) ، وحقب الحياة الحديثة (السينوزويك) .

حقب الحياة القديمة – الباليوزويك

Paleozoic Era

تقسم صخور هذه الحقبة الى عدة انظمة جيولوجية استنادا الى محتوياتها المستحاثية وخواصها الصخرية كما يلي :

النظام الكمبري Cambrian System

تظهر صخور الكمبري الرسوبية في حزام يمتد من الجنوب وحتى البحر الميت على طول الجانب الشرقي من وادي عربة . وتبدأ رواسب مرحلة الكمبري برسوبيات قارية (٢) حيث ترسبت (كونجلوميرات الاساس) (٣) . الذي يصل سمكها الى ٥٠ مترا . بعدم ثوافق زاوي مع صخور القاعدة البريكامبرية، وتوجد كونجلوميرات الاساس هذه مائلة الاودية التي كانت تقطع صخور البريكامبري في ذلك الزمان . ولا توجد هذه الكونجلوميرات الى الشرق من وادي عربة حيث يرتكز (حجر الرمل الاركوزي المتطبق) (٤) مباشرة على صخور القاعدة التي سواها (٥) الحت .

يمكن تتبع الحجر الرملي الاركوزي المتطبق من منطقة وادي رم في جنوب الاردن وعلى امتداد الجانب الشرقي لوادي عربة حتى البحر الميت . ويبدأ هذا التتابع باحجار رملية اركوزية ، بنية ، خشنة الحبيبات ، سميقة التماسك تحتوي على طبقات حصباء صغيرة الحبيبات من الكوارتز والكوارتزبورفيرية . وهي مغطاة باحجار رملية وأكثر استدارة وسميكة التماسك وذات اللون فاتحة. بنية وقرمزية ، ومتوسطة الى خشنة الحبيبات وتتدرج سماكة هذا التتابع شمالا باتجاه البحر الميت ، اذ تبلغ (٢٠) م في الجنوب و ٥٠ م في وسط وادي عربة و ٢٠٠ م باتجاه شرقي البحر الميت. وقد نسب هــذا النسق المؤلف من الكونجلوميرات والحجر الرملي الاركوزي المتطبق الى عصر الكمبري الاسفل . ويتغطى هذا التتابع في الجنوب (بحجر رملي كتلي بني مجوى) (٦) ، ترسب في بيئة قارية ، أما في وسط وادي عربة فيتغطى بحجر رملي ناعم ابيض وذي أصل نهري بحري (٧) في حين يتغطى في شمال وادي عربة والبحر الميت بتكوين مؤلف من حجر دولوميتي - جبيري - غضاري (٨) وترسب في بيئة بحرية . تتغطى طبقات الحجر الرملي الاركوزي بطبقات بحرية على طول الجانب الشرقي لوادي عربة ما بين البحر الميت وعرنذل . وتتألف بالقرب من عرنذل من (حجر رملي ابيض ناعم) الحبيبات بسبك يصل الى ١١٠ م . ويتداخل ويستبدل جنوبا وشرقا بالجزء الاسفل من الحجر الرملي البني المجوى (الشكل ٢١ - ٣) الذي يبلغ سمكه الكلي اكثر من ٣٥٠ م . وقد عرف هذا التتابع (بحجر رمل قويه) (٩) . ويستبدل الحجر الرملي الابيض الناعم الحبيبات تدريجيا الى الشمال والغرب بتتابع « الحجر الدولوميتي - الجبيري - الغضاري الذي يصل سمكه الى ٥٠ م . ولقد عرف هذا التتابع منذ امد طويل في منطقة البحر الميت (بحجر جبر البرج) (١٠) الذي يمتد من اواخر عصر الكمبري الاسفل وحتى الكمبري الاوسط .

تغطى الجزء العلوي من « الحجر الرملي الكتلي البني المجوى » في جنوب الاردن طبقات الكمبري البحرية في الشمال ، ففي المنطقة التي تقع شرق غور الصافي



الشكل (٢١ - ٢) : بركي توضع حجر رمل وغسل الوردوني في الوسط . والأعلى على بعد (١٠) كم شمال غوب محطلة الدرة في جنوب الأردن .

النسكل (٢١-): مقطع رأسي متراكب يمتد من صخور الحقة القديمة وحتى الكريتاسي في جنوب ا

المستحاثات المميزة	المقارنة بتتابع مويج منطقة وادي السرحان في المملكة العربية السعودية	بيئة الترسيب
West East <i>Sassafras acutilobum</i> <i>Oreodaphne beirensis</i> <i>Cinnamomophyllum jordanicum</i> <i>Perseophyllum grandifolium</i> <i>Ficophyllum jordanicum</i> <i>Milsoniophyllum benderi</i> <i>Weichselia reticulata</i>	تكوين الأرومة	بارتيا بارتيا بارتيا بارتيا
<i>Onchus</i> sp. <i>Rusophycus</i> sp. <i>Arthropycus</i> sp.	تكوين تبوك	بحري قليل العمق
		قاري
<i>Neutuloidea</i> ; <i>Sabellarifex</i> sp.; <i>Brongniartella</i> sp. aff. <i>B. platynota</i> ; <i>B. sp.</i> aff. <i>B. edgelli</i> ; <i>B. benderi</i> ; <i>Modiolopsis</i> sp.; <i>Rostricellula arabica</i>		بيئة المد والجزر
<i>Climacograptus scalaris</i> ; <i>C. innotatus jordanensis</i> ; <i>Mosograptus</i> sp.; <i>Diatomodus kentuckyensis</i> ; <i>Archaeonectris benderi</i> ; " <i>Conularia</i> " sp.; <i>Ezoconularia</i> (?) sp.; <i>Trematis tenuicornata</i> ; <i>Orbiculothyris costellata</i> <i>Sabellarifex duforenyi</i> ; <i>Arthropycus alleghaniensis</i> ; <i>Rusophycus</i> sp.; <i>Cruziana</i> sp.	عضو هنادر	شاطيء
<i>Didymograptus</i> cf. <i>D. bifidus</i>		بحري
<i>Cruziana</i> sp. <i>Cruziana furcifera/goldfussi/vilanova</i>	حجر رمل ام سهم ورم (غير مقسمة)	قاري ونهرى بحري
	حجر رمل رقي	قاري

النظام	النسق	المرحلة	الوحدة الصخرية الطبقيية (تقسيم البعثة الجيولوجية الألمانية) (١٩٦١ - ١٩٦٦)	الوصف الصخري وسمكه بالمتر
الكريتاسي	الاعلى	السينوماني	شرق الحجر الرملي المتعدد الألوان	شرق الحجر الرملي المتعدد الألوان
	الاسفل		الحجر الرملي المتعدد الألوان	الحجر الرملي المتعدد الألوان
السيلاوري	الاعلى	اللودونى الاسفل (٩)	الحجر الرملي الفنى بادنايبس الديدانية	الحجر الرملي الفنى بادنايبس الديدانية
	الاسفل	الاندوفيري الاسفل	الحجر الرملي الاحمر - البنى الارجيلي	الحجر الرملي الاحمر - البنى الارجيلي
الاوردوفيشي	الاعلى والاسفل	الكرادون الاشجيب	الحجر الرملي الكونبولاري	الحجر الرملي الكونبولاري
	الاسفل	اللانديل	الحجر الرملي السابيلاريفي	الحجر الرملي السابيلاريفي
	الاسفل	الارينيچ	الحجر الرملي الكتلي الابيض المجوى	الحجر الرملي الكتلي الابيض المجوى
	الاسفل		الحجر الرملي الكتلي البنى المجوى	الحجر الرملي الكتلي البنى المجوى
الكمبري			الحجر الرملي الكتلي البنى المجوى	الحجر الرملي الكتلي البنى المجوى
			الحجر الرملي الاركوزي المتطابق	الحجر الرملي الاركوزي المتطابق
			صخور القاعدة المركبة	صخور القاعدة المركبة

so₄ (٩) الجبس
NaCl (٨) صخر ملح الطعام
٨٨٨ (٧) صخور سيليسيه
٦٦٦ (٦) حجر جيري
٥٥٥ (٥) حجر رملي خشن الحبيبات وحصى



الشكل (٢١ - ٣) : يبين توضع حجر رمل الكمبري والاوردوفيشي
الاسفل على بعد (٨) كم جنوب - جنوب شرق مخفر شرطة وادي رم .

والبحر الميت ، فانه يستبدل تدريجيا (بالحجر الرملي الابيض المتطبق) الذي يبلغ سمكه حوالي ٢٢٠ م وربما يكون ذا اصل بحري ايضا وبالتالي يعتبر من ضمن صخور الكمبري .

Ordovician System

النظام الاوردوفيشي

تظهر صخور هذا النظام محددة الانتشار ومتوافقة على صخور الكمبري الفتاتية في الجانب الشرقي من وادي عربة (الشكل ٢١ - ٥) ويكون هذا التتابع اكثر تكاملا في جنوب شرق حفرة الانهدام حيث تتوضع مائلة قليلا باتجاه شرق شمال شرق تحت طبقات نظام الكريتاسي التي تتوضع بعدم توافق زاوي واضح على صخور الحقبة القديمة .

وتبدأ صخور الاوردوفيشي (بحجر رملي كتلي ابيض مجوى) (١١) ترسب في بيئة قارية ونهرية بحرية متبادلة . فتحتوي طبقات الرمل خشنة الحبيبات وذات التطبق المتقاطع (١٢) على عدد من عدسات الحصباء منتشرا فيها حصى صغير كوارتزي . ويصل سمك هذا التتابع حوالي ٣٠٠ م في منطقة خور رم



الشكل (٢١ - ٥) : منطقة وادي عربة من حفرة الانهدام . تتوضع رواسب
البلايستوسين العلوية الفتاتية الخشنة الحبيبات على هيئة مصاطب أمامية ، ثم تظهر صخور
الترياسي والجوارسي والكريتاسي متطابقة في الزاوية الشرقية من البحر الميت .

— قاع الديسة في الجنوب . ولقد احتوت بعض طبقات الغضار الغريني والمايكي (١٣) على آثار مستحاثية (١٤) من عصر الاوردوفيشي الاسفل (١٥) وقد اطلق عليه اسم (حجر رمل رم) (١٦) الذي شمل عصر الكمبري وحتى عصر الجوارسي دون تحديد وهو ذو نشأة قارية (١٧) .

وتتوضع (طبقات الحجر الرملي البني المجوى) (١٨) بسمك (٢٥٠) م متوافقة على طبقات الحجر الرملي الكتلي الابيض المجوى . وتتواجد مكشوفة على امتداد حزام يتراوح عرضه ما بين (١٠ — ١٥) كم جنوب — جنوب شرق ابتداء من رأس النقب وحتى العربية السعودية . فالحجر الرملي ضعيف التصنيف وخشن الحبيبات في جزئه الاسفل ، لكنه جيد التصنيف ومتوسط الحبيبات في جزئه العلوي على امتداد (٥٠ — ٧٠) م . ولونه ضارب الى السمرة او حتى الى السواد بسبب الطلاء الصحراوي ، فألوانه الاصلية كانت قرمزية ، وبيج ، ورمادية بنية ، وبيضاء في الجزء العلوي . ويظهر انه قد ترسب في بيئة قريبة من الشاطئ (١٩) ومدية وجزرية (٢٠) ، وبعيدة عن الشاطئ ، وضحلة حيث انها تحتوي على اثار مستحاثية من نوع كروزيانا (٢١) . وقد اعتبر هذا التابع من عصر الاوردوفيشي الاسفل نظرا لانها تغطي طبقات اوردوفيشية معروفة وتتغطي بالتالي بطبقات مستحاثية رسوبية من العصر اللانفيري (٢٢) . وقد سمي هذا التابع « بحجر رمل أم سهم » (٢٣) ونسب الى انساق الحجر الرملي النوبي « (٢٤) الممتدة من الحفنة القديمة وحتى النظام الجوارسي دون تحديد ، وهي ذات نشأة قارية .

ويتغطي تكوين (حجر رمل أم سهم) بانقطاع صخري ملحوظ ، يتألف من غضار متعدد الالوان ، ومن حجر رملي سيليسي بني ضارب الى الحمرة ودقيق الحبيبات ، ومن حجر رملي بني جيد التطبيق دقيق الحبيبات متبادلا مع غضار رملي سهل التفكك وحجر غريني ، ويصل سمكها جميعا الى حوالي (٨٠) م .

13. Micaceous

14. Trac fossils

15. Huck et al, 1963

16. Ram Sandstone

17. Quennell, 1951

18. Bedded brownish

weathered sandstone

19. Near shore

20. Tidal

21. Crusiana, Selley, 1968.

22. Llanvirnian

23. Um Sahm Sandstone

24. Nubian sandstone series,

Quennell, 1951

وتحتوي الطبقات السفلى البحرية النشأة على مستحاثات مثل *Didymograptus cf. D. bifidus* التي توجد ضمن صخور الاوردونيشي الاوسط وقد عرفت هذه الطبقات « بالحجر الرملي الجرابتوليتي » (٢٥) لانه احتوى على اول مستحاثات الجرابتوليت في الاردن (٢٦) . تنتهي هذه الطبقات بغضار اخضر سهل التفكك مغطاة بطبقة من الحجر الرملي تكثر فيها الديدان الانبوبية الممودية المعروفة بالسابلاريفكس (٢٧) . ويتألف الحجر الرملي الاخير من حبيبات دقيقة متبادلة مع طبقات رقيقة من الغضار الرملي . ويبلغ سمكه في الجنوب (١٢٠) م غرب سكة حديد الحجاز ، وهي من الاوردونيشي الاوسط نظرا لما يجدها من التتابعات من اسفل ومن اعلى (٢٨) .

وتتغطى طبقات الحجر الرملي الغنية بالسابلاريفكس بتوافق من طبقات فتاتية دقيقة الحبيبات ، وبحرية الى شاطئية النشأة ، حيث انها تحتوي على متداخلات غضارية غرينية ورمل دقيق الحبيبات اكثر من طبقات السابلاريفكس ، بالاضافة الى انها تحتوي ايضا على عدسات من الجبس والملح الصخري بسمك قدره (١) سم . ولقد وضع الحق السفلي لهذه الطبقات الفتاتية عند بداية طبقة الغضار الخضراء الرملية السهلة التفكك التي يبلغ سمكها حوالي (١٢ — ١٥) م فوق الحجر الرملي السذي يحتوي على السابلاريفكس . وقد سمي هذا التكوين « بالحجر الرملي الكونيولاري » (٢٩) لاحتوائه على *Exoconularia sp.* التي وجدت في الثلث الاسفل منه (٣٠) . يبلغ سمكه حوالي (٢٥٠) م في غرب وشرق سكة حديد الحجاز ما بين محطة بطن الغول والدورة في الجنوب ، وتقع ضمن مجال العصر الاوردونيشي الاعلى وحتى العصر السيليوري الاسفل .

Silurian System

النظام السيليوري

تظهر صخور نظام السيليوري في جنوب الاردن ، شرق سكة حديد الحجاز مغطية صخور الاوردونيشي الاعلى . اما مستوى التقاء طبقات الاوردونيشي

25. *Didymograptus cf. D. bifidus*,
graptolitic Sandstone.
26. Bender & Huckriede, 1963
27. *Sebellarifex*

28. Wolfart, 1968
29. *Conularia sandstone, Exoconularia sp*
30. Bender & Hickriede, 1963

مع السيليوري فما زال الرأي غير مستقر عليه لكنه معروف مستحانيا (٣١) .
وقد وضع هذا الحد تجريبيا عند التقاء طبقات الاحجار الرملية الجرابتوليتية
بالسابيلاريفكس الاوردوفيشية ، والحجر الرملي الكونيولاري المختد — من
الاوردوفيشي الاعلى وحتى السيليوري الاسفل « الحجر الرملي النوتيلودي » (٣٢)
(الاشكال ٢١ — ٣ ، ٢١ ، ٤ — ٢١ ، ٦) . تتألف الطبقات من
متبادلات من الحجر الرملي الدقيق الحبيبات ، السهل التفكك ومن الفضار
الرملي الغني بالعديد من المستحاثات النوتيلودية التي تغطي الحجر الرملي
الكونيولاري دونها ملاحظة اي انقطاع ليثولوجي عام . وقد وصف العديد من
المستحاثات النوتيلودية في التتابع المكشوف شرق سكة حديد الحجاز الذي يبلغ
سمكه (١٦٠) م ، ويصل السمك الكلي للتتابع البحري النشأة والمختد من الحجر
الرملي الجرابتوليتي وحتى الحجر الرملي الكونيولودي حوالي (٥٦٠) م . اما
سمك هذا التتابع في احواض الحقبة النديمة الرسوبية فربما يزيد عن (١٠٠٠) م
كما تبين ذلك من نتائج الابار المحفورة على بعد (٢٠) كم الى الشرق من المدورة
وكذلك من اعمال المسح الكهربائي والزلائي (٣٣) في منطقة حوض الجفر .
ويغطي تتابع من « الحجر الرملي الاحمر — البني الارجيلي » (٣٤) تتابع الحجر
الرملي النوتيلودي بسمك (٨٠) م في الجنوب الشرقي من المملكة (الشكل ٢١ —
٢) . ويتألف من طبقات متبادلة من الحجر الرملي الاحمر البني الخشن الحبيبات ،
ومن الحجر الرملي الدقيق الحبيبات ومن الفضار الرملي المايكي التي ترسبت في
بيئة قارية . ولقد اعتبرت على انها من النظام السيليوري بسبب وضعها الطبقي
في التتابع (الشكل ٢١ — ٧) .

ان الحجر الرملي الاحمر البني الارجيلي يتغطى بحوالي (٢٠٠) م من الحجر
الرملي الجيد التطبق والتطبق المتقاطع جزئيا ، المتوسط الى خشن الحبيبات
والرمادي اللون الى بني فاتح . ويكثر في هذا التكوين العديد من مستحاثات
الديدان الانبوبية وآثار المفصليات المستحاثية حيث وجدت مستحاثات الـ
الانبوبية (٣٥) شائعة في الحجر الرملي للسيليوري الاعلى (٣٦) .

31. Wolfart, 1968

32. Nautiloides sandstone

33. Seismic

34. Red-brown argillaceous sandstone

35. Onchus sp

36. Huckriede, 1963

Devonian System

النظام الديفوني

لم يسجل حتى الآن صخور ديفونية مكشوفة في الاردن ، ولكن ربما وجدت كطبقات باطنية في أحواض الازرق ووادي السرحان والجفر الا انه قد سجلت صخور من العصر الديفوني مكشوفة جنوب شرق الاردن في المملكة العربية السعودية على بعد (٨٠ - ١٢٠) كم متوضعة فوق الحجر الرملي المميز بالديدان الانبوبية وهو يتبع العصر السيليوري الاعلى (٢٧) . ويتألف هذا التتابع من طبقات متبادلة من الحجر الرملي ، والغضار الرملي ، والحجر الجيري المستحاثي ، والحجر الجيري الطحلي ، والحجر الجيري الدولوميتي والترسبة في مياه بحرية ضحلة بسبك يصل الى حوالي (٢٠٠) م .

Carboniferous System

النظام الكربوني

ليس هناك مكاشف للصخور الكربونية في الاردن ، الا انه قد اخترق (٢٠٠) م . منها في بئر الصفراء شرق عمان ، وتتألف من تعاقب من الحجر الرملي المايكي ، والحجر الرملي الارجيلي ، والغضار الرملي ، والحجر الجيري الرملي الداكن الذي نسب الى الكربوني الاوسط على أساس مستحاثات حبوب اللقاح والابواغ (٢٨) .

وتوجد صخور الكربوني مكشوفة في منطقة القعرة في شمال غرب العراق ، وكذلك اخترقت في بئر الطنف في الزاوية الجنوبية الشرقية من سوريا . ويسود الاعتقاد بوجود طبقات سميكة من هذا النظام في الشمال الشرقي والشمال الغربي في أراضي المملكة .

Permian System

النظام البيرمي

تم اكتشاف صخور من هذا النظام في وادي الهرة شمال شرق البحر الميت في عام ١٩٧٨ على أساس مستحاثات حبوب اللقاح والابواغ ، وكذلك تم اختراقه في آبار وادي الهزيم والخالدية في الشمال الشرقي وبئر الرمثا في الشمال مسن المملكة .

ولقد سجلت صخور بيرمية في سوريا (٢٩) ، وفلسطين المحتلة (٤٠) ،
والعربية السعودية (٤١) ويعني هذا أن بحار البيرمي قد غطت معظم بقاع
الجزيرة العربية ما عدا مناطق الدرع العربي النوبي والمجاورة له .

حقب الحياة المتوسطة - الميزوزويك

Mesozoic Era

تقسم صخور هذه الحقبة الى الانظمة التالية :

Triassic System

النظام الترياسي

تبرز طبقات نظام الترياسي في الجانب الشرقي من وسط وادي نهر الاردن
وشرق البحر الميت ، وتغطي تتابع الحجر الرملي الابيض الكبير المتطابق دونما
ملاحظة عدم توافق زاوي . ويحتل وجود صخور من أنظمة البيرمي والكربوني
والديفوني والسيلوري والاوردوفيشي ما بين صخور الكبير والترياسي شرق
وغرب وادي الاردن .

تتألف صخور الترياسي المكشوفة على الجانب الشرقي من البحر الميت من
اسفل الى اعلى من احجار رملية صفراء بنية دقيقة الحبيبات متبادلة مع رمل
مارلي وغضار سمكه (٦٥) م ، ومن تعاقب طبقات من الغضار الاحمر البني والجديدي
والرمادي والاخضر ومن حجر رملي دقيق الحبيبات أرجيلي سمكه (٥٠) م ،
وكذلك من طبقات من الغضار الرملي الاحمر القرمزي مع حجر رملي داكن
الحمرة دقيق الحبيبات وسمكه (٧٠) م . ويظهر أن هذه الصخور الترياسية قد
ترسبت في بيئة متغيرة تتراوح من قارية الى لاغونية وشاطئية ضحلة الى بحرية
عميقة وتتبع العصر الترياسي الاسفل . يستند هذا التتابع باتجاه الجنوب في
منطقة مجرى نهر الموجب بحيث تتوضع هذه الطبقات بين الاحجار الرملية
الكبرى والكريتاسية السفلية (٤٢) . أما في الشمال وفي مجرى نهر الزرقاء فانه

يحتوي على جبس ويزداد سمكه بحيث يصل الى اكثر من (٢٨٠) م ، وهو يتبع العصر الترياسي الاوسط . لقد بلغت سماكة هذا النظام في ضفة الاردن الغربية الى ما يزيد عن (١٠٠٠) م في بئر حلحول الاستكشافي والذي تألف من انساق من الحجر الجيري والدولومايت والمارل والانهدرايت .

Jurassic System

النظام الجوراسي

توجد صخور نظام الجوراسي مكشوفة في اسفل مجرى وادي نهر الزرقاء وجنوباً منه لمسافة (٢٠) كم على الجانب الشرقي لوادي نهر الاردن وكذلك في بقعة محدودة غرب ماحص . تختفي صخور الجوراسي بعد ذلك بحيث لا توجد على الجانب الشرقي لشمال البحر الميت ومن ثم تقع رمال عصر الكريتاسي الاسفل غير متوافقة على رواسب العصر الترياسي .

تتألف طبقات الجوراسي المكشوفة ، من اسفل الى اعلى ، من طبقات متعاقبة الحجر الجيري والمارل الرملي بسبك (٢٢٠) م ، ومن حجر رملي به بقايا من مستحاثات نباتية يصل سمكها الى (٧٠) م ، ومن حجر جيري متطبق كتلي بسبك (٧٠) م . يظهر ان هذه الطبقات قد ترسبت في بيئة تهتد من الشاطئ الضحل الى منطقة المياه الضحلة (٢٢) وانها تتبع العصر الباثوني (٤٤) من الجوراسي الاوسط حسب ما اشارت اليه المستحاثات الكبيرة (٤٥) وتزداد سماكة طبقات الجوراسي باتجاه الشمال والغرب عبر حفرة الانهدام حيث وصلت الى حوالي (٢٠٠٠) م في بئر حلحول شمال الخليل . وقد تألف التتابع المحفور اساساً من الحجر الجيري والمارلي والذي يمتد بترسبه في بيئة تتراوح من بحرية ضحلة

الى عميقة والذي قدر على انه يمتد من الجوراسي الاسفل وحتى الاعلى . اطلق على صخور الجوراسي والترياسي المكشوفة على مجرى وادي نهسر الزرقاء « مجموعة الزرقاء » (٤٦) .

43. Neritic

44. Bathonian

45. Cox, 1925; Muir-Wood, 1925; Wetzel and Morton, 1959; Boom

46. Quennell, 1951 and Burdon 1959, Zerga group

and Lehloub 1962, Bender, 1968 & 1975.

Cretaceous System

النظام الكريتاسي

يشتمل هذا النظام على أنساق مختلفة السحنة والانتشار ، ويتألف من :

Lower Cretaceous Series

أنساق الكريتاسي الاسفل.

تتكشف أنساق الكريتاسي الاسفل في بعض مناطق البنيات المرتفعة في غرب وشمال غور الاردن وشرق حفرة الانهدام . وتتواجد ايضا على طول حزام يوازي الجانب الشرقي للبحر الميت حتى وادي عربة وكذلك على امتداد منحدر رأس النقب في الجنوب الشرقي من المملكة . وهي مفصولة عن الصخور الاقدم منها بعدم توافق زاوي عام . وحيثما تتكشف صخور الكريتاسي الاسفل فهي إما تغطي :

- ١ — صخور الاكسفوردي (٤٧) الجوراسية في غرب الاردن ، او :
- ٢ — صخور الحجر الجيري الرملية والجيرية الباثونية الجوراسية الداكنة على الجانب الشرقي لوادي نهر الاردن ، او
- ٣ — صخور الترياسي الجيرية الفضارية الرملية الواقعة بين الرأؤيسة الشمالية الشرقية من البحر الميت ووادي نهر الموجب ، او
- ٤ — صخور الحجر الرملي والفضار السيلوري في جنوب شرق الاردن ، او
- ٥ — الحجر الرملي والفضار الرملي الاوردونيشي ما بين رأس النقب وسكة حديد الحجاز في جنوب الاردن ، او
- ٦ — الحجر الرملي الكمبري وبقايا الاوردونيشي على الجانب الشرقي لوادي عربة .

يسود في الجزء الجنوبي من نهر الاردن وحتى البحر الميت من حفرة الانهدام الحجر الرملي المتعدد الالوان الأرجيلي ، والفضار الرملي والمارل بيسمك (٣٠٠ م) ، وهو قارى النشأة ويرجع عمره الى العصر النيوكومي الذي (٤٨) يساوي « حجر رمل وادي حظيرة » (١٩٤٩) ، او « حجر رمل الكرنب » (٥٠) .

وتتواجد طبقات من الحجر الجيري ، والحجر الجيري الرملي ، والمارل البحرية النشأة في أجزاء من غرب وشرق المملكة وتتبع عصور الابتي (٥١) والالبي (٥٢) ويزيد سمك هذه الطبقات غربا ويقل باتجاه الشرق عبر وادي نهر الاردن ، حيث يوجد حجر رملي بحري النشأة وبسمك (٤٠) م يرجع عمره الى عصور الابتي — الالبي متكشفاً في الجزء العلوي من تتابع الكريتاسي الاسفل في عين الخنازير والذي يبلغ سمكه الكلي حوالي (١٧٠) م ويتألف من حجر رملي متعدد الالوان خشن الى دقيق الحبيبات ، ومن غضار رملي ومارل رملي يحتوي على بقايا مستحاثات نباتية نسب عمرها الى العصر النيوكومي .

يمكن تمييز وحدتين صخريتين من الكريتاسي الاسفل مكشوفة بامتداد جنوب البحر الميت وشرق جنوب منحدر رأس النقب وهما :

١ — وحدة الحجر الرملي الابيض الكتلي السفلية (٥٣) والتي يبلغ سمكها

حوالي (١٨٠) م .

٢ — وحدة الحجر الرملي المتعدد الالوان العلوية (٥٤) ويبلغ سمكها

حوالي (١٥٠) م .

وتحتوي كلتا الوحدتان على قطع من بقايا نباتات تتبع اوائل النظام الكريتاسي والتي ترسبت في بيئة قارية . وتري الاجزاء العلوية فقط من الوحدة الثانية بعض المتداخلات المارلية والغضارية البحرية النشأة في منطقة رأس النقب حيث تحتوي على منخربات رملية وأسنان أسماك .

الا أن وحدة الحجر الرملي الابيض الكتلية تستبدل تدريجيا في جنوب شرق الاردن وشرق سكة حديد الحجاز بحجر رملي بني خشن الحبيبات وبسمك (٩٠) متر تقريبا ، وتصبح وحدة الحجر الرملي المتعددة الالوان احدث عمرا كلما اقتربنا من الدرع العربي النوبي باتجاه الجنوب الشرقي من المملكة (٥٥) .

Upper Cretaceous Series

انساق الكريتاسي الاعلى

تغطي انساق الكريتاسي الاعلى معظم المرتفعات الواقعة غرب حفرة الانهدام ومعظم سلاسل جبال المناطق الشمالية ، بالإضافة الى انها تغطي معظم الهضبة

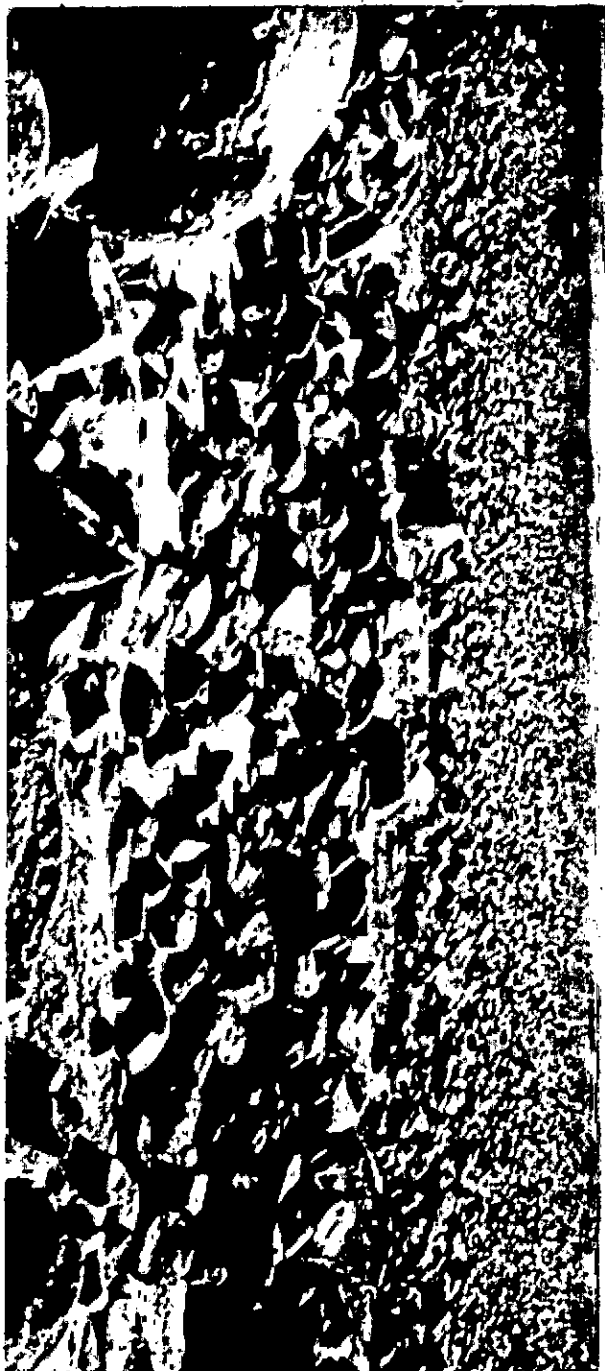
51. Aptian

52. Albian

53. Massive white sandstone unit

54. Varicoloured sandstone unit

55. Bender & Madler, 1969



الشكل (٢١ - ٦) : بؤي كل زارية من الطيوج البركانية الجارفة التي تغطي الشمال الشرقي من الهكّة وعلى بعد (٢٠٠) كم إلى الشرق من عمان .

الوسطى (الشكل ٢١ — ٦) . تتميز بداية رواسب الكريتاسي الاعلى في غرب وشمال ووسط المملكة بسحن جيرية بحرية ، تزامنت في الجنوب الشرقي مع رواسب رملية ترسبت في بيئة قارية .
تقسم انساق الكريتاسي الاعلى ، ومن اسفل الى اعلى ، الى ما يلي :

١. وحدة الحجر الجيري العقدية 1. Nodular Limestone Unit

تتألف من متبادلات من الحجر الجيري ، والحجر الجيري الدولوميتي ، والمارل والغضار ، ومن جنبى محدود الانتشار وبعض الصوان ، توضع على وحدة الحجر الرملي المتعددة الالوان من الكريتاسي الاسفل (٥٦) والتي تساوي الجزء الاسفل من مجموعة العجلون (٥٧) يزيد سمكها عن (٤٥٠) م في غرب الاردن ، في حين بلغ سمكها حوالي (٣٠٠) م في اسفل مجرى وادي نهر الموجب ، ونقصت سماكتها باتجاه الجنوب والجنوب الشرقي بشكل ملحوظ حيث بلغت (٧٠) م في رأس النقب . يرجع عمر هذه الوحدة الصخرية الى العصر السينوماني (٥٨) .

٢. وحدة الحجر الجيري الاكنويدي 2. Echinoid Limestone Unit

تغطي الوحدة السابقة وتتألف من متبادلات من الحجر الجيري الكتلي والرفيع المطبق ، والحجر الجيري الدولوميتي ، والمارل ، وبعض من طبقات الغضار والجبس المحدودة الانتشار . تساوي الجزء الاعلى من مجموعة العجلون . يبلغ سمكها حوالي (٢١٠) م في منطقة نهر الزرقاء ، وتزيد باتجاه الغرب وتنقص باتجاه الجنوب والجنوب الشرقي من المملكة . ويرى الثلث الاعلى منها زيادة في كمية الرمل ابتداء من وادي نهر الموجب باتجاه الجنوب والجنوب الشرقي . وقد اعتبر الثلثان الاخيران من هذه الوحدة من العصر السينوماني ، اما الثلث العلوي الاخير والذي تتغير سحنه جانبيا الى عضو الحجر الجيري الرملي (٥٩) جنوب وادي الموجب ويبلغ سمكه حوالي (١١٠) م فقد اعتبر من العصر التوروني (٦٠) والسنتوني (٦١) .

56. Bender, 1968 & 1975

57. Quennell 1951, Ajlun Group

58. Cenomanian, Blackenhorn, 1914

59. Sandy limestone member

60. Turonian

61. Santonian, G.G.M.J., 1961-1966

٣. وحدة الحجر الجيري الكتلية 3. Massive Limestone Unit

توجد متوضعة على وحدة الحجر الجيري الاكنويدية ، وتساوي الجزء العلوي من مجموعة العجلون ، ويصل سمكها الى (٦٠) م ، واعتبرت من العصر السنتوني .

٤. وحدة الحجر الجيري السيليسية 4. Siliceous Limestone Unit

تنقص وحدة الحجر الجيري الكتلية جنوبا من عمان حتى انها تستبدل بوحدة الحجر الجيري السيليسية والتي تغطي مباشرة وحدة الحجر الجيري الاكنويدية، والتي ربما كانت سحنتها (٦٢) مساوية لسحنة الحجر الجيري الرملية . تتألف هذه الوحدة من حجر جيري طبقي سيليسي ، ومن طبقات صوانية ، وفسفورايت سيليسي رقيق التطبيق ، ومن طبقات رقيقة من الحجر الجيري . يتواجد هذا التتابع في كل مناطق المملكة باستثناء أقصى الجنوب الشرقي حيث انها تسدق جنباً الى جنب مع وحدات الكريتاسي الاخرى، وتستبدل بحجر رملي قاري النشاء ومتعدد الالوان . يصل سمك هذه الوحدة الى (١٣٥) م في وادي الموجب ، ولكنها تنقص باتجاه الغرب عبر حفرة الانهدام حيث وصل سمكها الى حوالي (٢٠ — ٣٠) م على بعد (١٢) كم من مدينة الخليل ، والى (٤٠ — ٧٠) م باتجاه شرق وجنوب محطة الحسا والقطرانة، والى اقل من (٢٠) م في منطقة زكيمة الحسا، وهي من العصر الكمباني (٦٣) .

٥. وحدة الفوسفورايت 5. Phosphorite Limestone Unit

تقع هذه الوحدة على الوحدة السابقة ، وتتألف من متبادلات طبقة رقيقة من الحجر الجيري ، والفوسفورايت السيليسي ، ومن طبقات سميكة ومتقاطعة من الاويستر (٦٤) ، وعدسات وطبقات فوسفاتية قابلة للتعددين . يصل سمك هذه الوحدة الى ٩٠ م في وادي الرجب وتقل باتجاه الشرق والجنوب وغربا غير

حفرة الانهدام ، وتمتد من العصر الكيباني وحتى الماستريخي (٦٥) . وتؤلف كل من وحدة الحجر الجيري السيليسية ووحدة الفوسفاريت الجزء الاسفل من مجموعة البلقاء (٦٦) .

٦. وحدة المارل الطباشيرية 6. Chalk-marl Unit

تتغطى وحدة الفوسفورايه تبصخور طباشيرية ومارل وحجر جيري مارلي ، وحجر جيري كتلي ومتبلور (يسمى رخام) . ويقابل هذا التابع الجزء العلوي من مجموعة البلقاء ، والذي يتراوح سمكه من (٢٠) م في الجنوب الشرقي الى اكثر من (٤٥٠) م في ابار حوض الجفر . فالسمك الكبير لهذه الوحدة محصور في الاحواض التي تتجه مضاربها شمال غرب . يسود في هذه الاحواض سحن الرواسب المختزلة من الحجر الجيري البيتوميني (٦٧) والتي يزيد سمكها عن (٢٠٠) م ، كما هي الحال في منطقة نهر اليرموك في شمال الاردن . وينسب عمر هذه الطبقة الى عصور الماستريخي — الداني (٦٨) — الباليوسين الاسفل (٦٩) ، بالاضافة الى الباليوسين الاعلى والايوسين الاسفل في الاحواض الرسوبية التي تحتوى على رواسب سمكة من هذه الوحدة .

Mesozoic volcanic rocks

الصخور البركانية في الحقبة الوسطى

تتكشف صخور مجوأة مافية (٧٠) الى مندفعة متوسطة (٧١) في غرب الاردن على بعد ٩ كم من قرية طوباس في وادي المالح تشتمل على الفينوليت (٧٢) . فهي متداخلة في الحجر الجيري للجوراسي الاوسط ، وجميعها ، بالاضافة الى الطنفه (٧٣) والكتل الاخرى مغطاة بحجر رملي من الكريتاسي الاسفل . وتتواجد مكاشف مماثلة لها ، وعلى نطاق ضيق ، بالقرب من نابلس في الضفة الغربية . توجد ايضا قواطع عمودية وافقية سيليسية في الاحجار الجيرية الترياسية في منطقة حسان في الزاوية الشمالية الشرقية من البحر الميت (٧٤) . وكذلك

65. Maestrichtian

66. Belqa group

67. Bituminous

68. Damon

69. Lower paleocene

70. Mafic

71. Intermediate eruptive

72. Phenolite, Ioniders & Blake, 1939

73. Tuff

74. Quennell, 1951

توجد في عيون موسى في نفس المنطقة قواطع أمقية من التراكيت (٧٥) ، وعدسات من الرماد البركاني في الطبقات الرملية المارلية تحت وفوق الاحجار الجيرية الترياسية . ومن المحتمل ان تتواجد قواطع عمودية من الدوليريت (٧٦) في وادي الكرك وفي عدة مواضع اخرى في وسط الجانب الشرقي من وادي عربة والتي يعتقد بتكونها اثناء الانتشار الواسع للحمم البازلتية في عصر البلايستوسين .

حقب الحياة الحديثة - السينوزويك

Cenozoic Era

استمر الترسيب البحري من الكريتاسي الاخير عبر الثلاثي (٧٧) دون انقطاع فغطت الصخور الرسوبية الباليوسينية والايوسينية مساحات شاسعة في شمال ، وشمال شرق ، وشرق - وسط الاردن ، واجزاء من الضفة الغربية ، وممرات صغيرة ممتدة على الجانب الشرقي من وادي عربة من حفرة الانهدام (الشكل ٢١ - ٢) . وتتألف وحدات هذه الحقبة مما يلي : —

وحدة الحجر الجيري الصوانية Chert Limestone Unit

يتوضع على الحجر الجيري الطباشيري الكتلي متبادلات رقيقة من طبقات الحجر الجيري والصوان ، وحجر جيري نمبوليتي (٧٨) المحدود الانتشار والذي يتراوح في العمر من الباليوسين الاسفل الى الايوسين الاوسط . يكافئ الجزء الاسفل من هذا التتابع الجزء العلوي من وحدة المارل الطباشيرية التي كانت ما تزال تترسب في الاحواض الرسوبية ومن رسوبيات البتومين التي استمرت حتى عصر الايوسين . بلغ سمك هذه الوحدة في حوض الازرق ووادي سرحان قرابة (١٨٠) م علما بانها تقل بالسمك باتجاه الجنوب .

يغطي السطح العلوي لهذه الطبقة (٥٠) م من مارل الكركارودن (٧٩) ، و (٣٠) م من الاحجار الجيرية الصوانية والتي تعتبر من عصر الايوسين الاوسط .

75. Trachyte.

76. Dolerite

77. Tertiary

78. Nummulitic limestone

79. Charcharadon marl

وتظهر هذه الصخور كبقايا محتوتة في وسط الهضبة الاردنية الا انها تزيد في السمك في حوض الازرق ووادي السرحان شرقا .

تري طبقات عصري الاوليوجوسين والميوسين تغييرات مميزة في البيئة الرسوبية ، فتغطي احجارا رملية جلوكونيتية ، واحجارا جيرية ، واحجارا رملية من العصرين صخور الايوسين الاعلى بعدم توافق واضح في منطقة الازرق والضاحكية ، في حين انها تتكشف بشكل محدود شرق الهضبة اليازلية في الشمال الشرقي من المملكة . يظهر في شونة نمرين في غور الاردن حوالي (٤٠)م من الحجر الجيري الرملي الجلوكونيتي والذي يحتمل انه ترسب في هذين العصرين .

Syntectonical Conglomerates

الكونجلوميرات المعاصرة للحركة التكتونية

يغطي الكونجلوميرات الاسفل المعاصر للحركة الوحدات المختلفة من الكريتاسي الاعلى والثلاثي الاسفل ، وتظهر فقط على امتداد الجانب الشرقي لوادي عربة والتي تشير كما يبدو الى أوائل الحركات التافروجينية التي تعرضت لها منطقة حفرة الانهدام . يتألف من حوالي (٢٨٠)م من متبدلات الكونجلوميرات، والحجر الرملي ، والمارل ، والغضار ، والغضار الجبسي ، في المقطع النموذجي على بعد (١٠) كم شمال — شمال شرق الشوبك . ويحتوي على بقايا اسماك ونباتات عاشت في مياه عذبة . يظهر هذا التتابع محدودا في منطقة حفرة الانهدام، في وسط الغرندل ، وفي وادي ضحل في الجزء الشمالي من الجانب الشرقي لوادي عربة . ويظهر في هذا الموضع التأثير البحري على طبقات المارل الرملية المتواجدة في الجزء الاعلى من تتابع الكونجلوميرات حيث انها احتوت على مستحاثات دقيقة من عصر الميوسين الاسفل .

ويترسب الكونجلوميرات الاعلى المعاصر للحركة بسمك يصل الى (١٠٠) م على الجزء الاسفل منه بتوافق زاوي ، ويتألف اساسا من طبقات كونجلوميريتية سمكية ، خشنة الحبيبات وذات ارضية جيرية رملية . يتواجد محصورا على الجانب الشرقي من وادي عربة ، وذو اصل قاري ونسب عمره الى مرحلة اواخر النيوجين . وربما يكافئ هذا التتابع نسق المارل الكونجلوميراتي في منطقة الذراع شرقي جزيرة اللسان على البحر الميت الذي يبلغ سمكه حوالي

(٢٠٠) م ، وكذلك لزمان الاحجار الجيرية الاولييتية البحرية المتواجدة في جبل الخريجة في وسط وادي عربة والتي تبلغ (٤٠) م . هناك صخور بحرية الترسيب ومن عصر الميوسين ، تشتمل على الحجر الرملي والرمال المارلي ، تتواجد غرب منطقة الازرق والضاحكية وشرق الهضبة البازلتية في الشمال الشرقي من المملكة .

تبخريات اللسان

Lisan Evaporites

تتواجد تبخريات اللسان في وسط اعمق منطقة من حفرة الانهدام ويعتقد ان سمك هذه التبخريات قد يصل الى (٤٠٠) م حسب ما اشارت اليه الدراسات السيزمية . ويقدر سمك رواسب ما بعد الكمبري فيها الى حوالي (١٠٠٠) م . تتألف التبخريات من طبقات رقيقة من الملح الصخري والكارتلايت بالإضافة الى بعض الانهيدريت ، والغضار ، والمارل . يزيد سمك الغضار والمارل بسرعة باتجاه الحافة الشرقية من حفرة الانهدام ، وتدرجياً باتجاه الجنوب . ويمثل الملح حشوة (٨٠) قليلة التحدب ، بحيث ان جانبيها الشرقي قد تعرض الى زعزعات شديدة بالحركة التافروجنينية ، اكثر من كونها قبة ملحية اختراقية (٨١) . يمتد عمر المتبخرات من الميوسين وحتى البلايوسين وربما يصل الى البلايستوسين .

تكوين الشاغور

Shagur Formation

ويوجد على امتداد الجانب الشرقي لوادي نهر الاردن . يتألف من صخور فتاتية ، خشنة الحبيبات جيدة الالتحام ، ومتبادلة مع ترافرتين (٨٢) ، وتغطي بغير توافق تتابعات اقدم منها . يبلغ سمك هذا التكوين حوالي (١٠٠) م ، وهو شديد التشوه (٨٢) . لتعرضه للحركات البنائية ، وذو اصل قاري لانه يحتوي على قواقع واوستراكودا وتمتد من اواخر عصر البلايوسين حتى البلايستوسين ، وهو بالتالي يعتبر اقدم صخر من المرحلة الرباعية في الاردن .

وهناك تتابع يتألف من متبادلات كونجلوميرتية ، واحجار رملية ، ومارل ،

وغضار ، وتربة حمراء مستحاثية ، يبلغ سمكه أكثر من (٣٥٠) م ويكافئ انساق جرين سبت (٨٤) المكشوفة في وسط وادي نهر الاردن . وهو اقل تشوها من تكوين الشاغور . ونسب هذا التتابع الى اواخر عصر البلايستوسين اعتمادا على محتوياته المستحاثية علما بأنه يكافئ ايضا انساق غور !!كتار (٨٥) .

Lisan Formation

تكوين اللسان

يغطي تكوين اللسان جميع تتابعات الصخور الاقدم منه في منطقة حفرة الانهدام . ويتألف من عضو سفلي مستحاثي يشتمل على غضار ومارل وسمكه لا يتعدى (٣٠) م ، ومن عضوي علوي يتألف في الاساس من طبقات رقيقة من المارل والغضار المحتوية على جبس وكبريت ويصل سمكه الى حوالي (٦٠) م في المناطق المكشوفة . وقد قدر عمر هذا التكوين من عصر البلايستوسين الذي ترسب في بيئة بحيرية منخفضة الى متوسطة الملوحة (٨٦) . وقد وجدت أدوات صوانية للانسان الاول ومن عصر البلايستوسين الاعلى ضمن تكوين اللسان في وادي نهر الاردن . لقد غطت بحيرة اللسان معظم وادي الانهدام ابتداء من بحيرة طبريا والى مسافة (٨٠) كم جنوب البحر الميت على شكل حيرة بلغ طولها حوالي (٢٨٠) كم وعرضها (٣٠٠) م .

يتبادل تكوين اللسان على امتداد حفرة الانهدام او يستبدل محليا مع رواسب فتاتية خشنة ورمل مشتقة من المناطق المرتفعة التي تحد وادي الاردن . الا ان هناك سحنا جيرية شبه اووليتيه تظهر في مواقع أخرى قريبة من شواطئ بحيرة اللسان القديمة من تكوين اللسان وذات سمك (١٠) م قد ترسبت جنبا الى جنب مع رواسب خربة السمراء في شمال اريحا .

لقد ترسبت خارج منطقة وادي الانهدام في احواض ومنخفضات رواسب نهريية وبحيرية في اثناء عصر البلايستوسين — كما هو الحال على بعد (١) كم شرق — جنوب شرق الفرندل ، وغرب منطقة الحسا ، وفي احواض الجفر ، والازرق ووادي السرحان . وتغطي كذلك حصاء نهريية مناطق شاسعة على منحدرات الجبال الشرقية وفي المناطق المقابلة للهضبة الوسطى .

أما رواسب الهلوسين (٨٧) ، فتتألف من حصباء أودية نهزية ومن رمال ، وكتل منزقة ، وفتات مروحي ، وقيعان طينية وكاليش .

الصخور البركانية في الحقبة الحديثة

Volcanic rocks of Cenozoic Era

لقد اتسع انتشار البراكين البازلتية في اواخر مرحلة النيوجين (٨٨) واستمر حتى اواخر زمن البلايستوسين في المناطق من غرب الاردن وعلى امتداد سلسلة الجبال الشرقية ، وعلى طول هضاب نطاقات التكسير الشمالية الغربية في الوسط والجنوب ، وكذلك ضمن منطقة الهضبة الشمالية الشرقية في المملكة . وبالرغم من أن البازلت نادر في غرب الاردن واقل انتشارا إلا أنه يوجد طفيف بركاني يغطي مساحة (١) كم من الاحجار الجيرية الايوسينية على بعد (٩) كم من مدينة جنين وكذلك صخور بركانية صغيرة سطحية مندفعة في عانين على بعد ١٤ كم غرب — شمال غرب جنين وفي رافات على بعد (٢٥) كم جنوب غرب نابلس وفي قرية سالم .

لقد وجد البازلت والطغه في مناطق صغيرة ومحدودة ضمن نطاق حفرة الانهدام ما بين بحيرة طبريا والبحر الميت علما بأنها غير موجودة في شمال منطقة اللسان . فالبازلت المتواجد في غور الكنار وعلى بعد (٢٦٥) كم شمال البحر الميت يغطي أنساق الجرين سبت بعدم توافق واضح ويتغطى من دوره بتكوين اللسان . أما البازلت والمتواجد بالقرب من الشاطئ الشرقي من شمال البحر الميت فيغطي حصباء نهزية تحتوي على أدوات تتبع للانسان الاول . ولقد قدر عمر النشاط البركاني في المناطق السالفة الذكر من زمن البلايستوسين الاوسط . توجد صخور بازلتية ضمن سلاسل الجبال الشرقية محصورة ما بين جبل عنيزة في الجنوب ووادي الموجب في الشمال في منطقة يبلغ عرضها (٢٠) كم وطولها (١١٠) كم . فالصخور البازلتية في وادي الموجب تغطي تربة مستحاثة وجماميد أودية ، في حين تغطي جلاميد نهزية من عصر البلايستوسين الاوسط في جبل القرينة على بعد (٥) كم شمال غرب محطة جرف الدراويش .

يوجد على طول منطقة الكسر ما بين وادي الكرك ووادي الفيحة والممتدة عبر الهضبة الوسطى عدة انسيابات بازلتية معزولة وقواطع عمودية بازلتية ودوليريتية . تغطي جلاميد نهريّة من زمن البلايستون الاوسط . أما في المنطقة المكسرة والتي تمتد حوالي (٧٠) كم ما بين القويرة والدورة فان البازلت يتداخل في الحجر الرملي من الجزء الاسفل من الحقة القديمة بالاضافة الى قواطع عمودية بازلتية .

تغطي الهضبة البازلتية جبل الدروز ووادي حوران السورية منطقة مساحتها (٤٥٠.٠٠) كم ، منها (١١٠.٠٠) كم في الشمال الشرقي من المملكة و (٢١٠) كم في الشمال الغربي من العربية السعودية .

لقد تدمجت كمية هائلة من الصخور البركانية الجوفية في الجزء الاردني والمسمى « بالهضبة البازلتية الشمالية الشرقية » من عدة شقوق ما تزال فوهات قصباتها البركانية (٨٩) مكشوفة للعيان في صفوف طويلة من المخاريط المنخفضة (٩٠) مخترقة الهضبة في الغالب باتجاه شمال غرب . لقد أمكن تمييز ستة طفوح بركانية (٩١) (الشكل ٢١ - ٨) تزيد سماكة البازلت باتجاه الشمال الغربي حيث اخترق حوالي (٣٥٠) م منه في بعض ابار التحري عن المياه الجوفية . تغطي الصخور البازلتية صخورا مختلفة الاعمار تمتد من الباليوجين وحتى اواخر زمن البلايستوسين .

اسئلة

- ٢١ — ١ تكلم عن صخور القاعدة البريكامبرية الاولى واقسامها .
- ٢١ — ٢ تكلم عن الصخور البريكامبرية المتأخرة .
- ٢١ — ٣ هل يوجد صخور متحولة في الاردن ؟
- ٢١ — ٤ اشرح اقسام صخور النظام الكمبري .
- ٢١ — ٥ وضح الاماكن التي توجد فيها صخور كمبرية بحرية .
- ٢١ — ٦ تكلم عن اقسام صخور النظام الاوردوفيشي وتوزيعاتها .
- ٢١ — ٧ ماهي اهم الخصائص الصخرية والمستحاثية في النظام الاوردوفيشي ؟
- ٢١ — ٨ حدد اماكن واقسام صخور النظام السيليوري .
- ٢١ — ٩ ماهي توقعاتك بالنسبة لوجود انظمة الديفوني والكربوني والبرمي في الاردن ؟
- ٢١ — ١٠ أين تتكشف صخور الترياسي ؟
- ٢١ — ١١ كيف تتوزع صخور الترياسي في الاردن ؟
- ٢١ — ١٢ تكلم عن صخور الجوارسي وتوزيعاتها وأعمارها .
- ٢١ — ١٣ ما هي اقسام الصخور الكريتاسية ؟
- ٢١ — ١٤ ماذا تعرف عن حجر رمل الكرب ؟ وما هو عمره ؟

- ٢١ - ١٥ ماهي اقسام صخور الكريتاسي العلوي وتوزيعاتها .
- ٢١ - ١٦ كيف تختلف سحن صخور الكريتاسي في الشمال والغرب والجنوب والجنوب الشرقي من المملكة ؟ وضح ذلك .
- ٢١ - ١٧ هل هناك صخور بركانية حدثت في الحقة الوسطى ؟ وأين توجد ؟
- ٢١ - ١٨ ماهي اهم خصائص صخور الحقة الحديثة ؟
- ٢١ - ١٩ اشرح كيف تتوزع وحدة الحجر الجيري الصوانية في الاردن .
- ٢١ - ٢٠ ماذا نعني بالكونجلوميرات المعاصر للحركة ؟ وماهي اقسامها ؟
- ٢١ - ٢١ اشرح ما تعرف عن تكوين الشاغور .
- ٢١ - ٢٢ كيف تكونت تبخريات اللسان .
- ٢١ - ٢٣ هل هناك علاقة ما بين تبخريات اللسان وتكوين اللسان ؟ وماهي ؟
- ٢١ - ٢٤ ارسم خريطة المملكة الاردنية وضع عليها صخور انظمة الترياسي وانظمة الترياسي والجوراسي ؟
- ٢١ - ٢٥ ارسم وادي غور الاردن ووزع عليه تكوين اللسان والشاغور .

مراجع اضافية

- Bender, Friedrich, 1965, Zur Geologie der Kupfererzorkommen am Ostrand des Wadi Araba, Jordanien: Geol. Jahrb., v. 83, p. 181-201.
- 1968a, Geologie von Jordanien: Beitr. regionalen Geologie Erde, v. 7, 230 p.; Berlin, Gebrüder Borntraeger.
- 1968b, Über das Alter und die Entstehungsgeschichte des Jordangrabens am Beispiel seines Südabschnittes (Wadi Araba, Jordanien): Geol. Jahrb., v. 86, p. 177-196.
- 1969, Ergebnisse erdölgeologischer Untersuchungen in Jordanien: Erdöl u. Kohle, v. 22, no. 9, p. 510-515; no. 10, p. 597-604.
- Bender, Friedrich, and Huckriede, Reinhold, 1963, Stratigraphie der "Nubischen Sandsteine" in SüdJordanien: Geol. Jahrb., v. 81, p. 237-276.
- Bender, Friedrich, and Mädler, Karl, 1969, Die sandige Schichtenfolge der Kreide mit einer Angiospermen-Flora in SüdJordanien: Geol. Jahrb., Beihefte, no. 81, p. 35-92.
- Blanckenhorn, Max, 1903, Die Mineralschätze Palästinas: Deutsch.-Paläst. Ver., Mitt. und Nachr., 1902, p. 65-70.
- Brämkamp, R. A., Brown, G. F., Holm, D. A., and Layne, N. M., Jr., 1963, Geologic map of the Wadi As Sirhan quadrangle, Kingdom of Saudi Arabia: U.S. Geol. Survey Misc. Geol. Inv. Map I-200A, scale 1:500,000.
- Burdon, D. J., 1959, Handbook of the geology of Jordan: [Amman], Jordan, Hashemite Kingdom, 82 p.
- Cox, L. R., 1924, A Triassic fauna from the Jordan Valley: Annals and Mag. Nat. History, ser. 9, v. 14, p. 52-96.
- 1914, Syrien, Arabien und Mesopotamien: Handbuch der regionalen Geologie, v. 5, no. 4, 159 p. (Heidelberg).

- 1925, A Bajocian-Bathonian outcrop in the Jordan Valley and its molluscan remains: *Annals and Mag. Nat. History*, ser. 9, v. 15, p. 169-181.
- 1932, Further notes on the Transjordan Triassic: *Annals and Mag. Nat. History*, ser. 10, v. 10, p. 93-113.
- 1934, On the occurrence of the marine Oligocene in Palestine: *Geol. Mag.*, v. 71, no. 842, p. 337-355.
- Edwards, W. N., 1929, Lower Cretaceous plants from Syria and Transjordan: *Annals and Mag. Nat. History*, v. 10, no. 4, p. 394-405.
- Gerry, E., 1967, Paleozoic and Triassic Ostracoda from outcrops and wells in southern Israel: *Israel Inst. Petroleum, Joint Paleontol. Lab. Rept.* 9 p.
- Helal, A. H., 1965, On the occurrence and stratigraphic positions of Permo-Carboniferous tillites in Saudi Arabia: *Geol. Rundschau*, v. 54 (1964), no. 1, p. 193-207.
- Ionides, M. G. and Blake, G. S., 1939, Report on the water resources of Transjordan and their development; incorporating a report on geology, soils, and minerals and hydrogeological correlations, by G. S. Blake: *Government of Transjordan*, 372 p.
- Muir-Wood, H. M., 1925, Jurassic Brachiopoda from the Jordan Valley: *Annals and Mag. Nat. History*, ser. 9, v. 15, p. 181-192.
- Quennell, A. M., 1951, The geology and mineral resources of (former) Transjordan: *Colonial Geology and Mineral Resources*, v. 2, no. 2, p. 85-115.
- Weber, Hans, 1963, Ergebnisse erdölgeologischer Aufschlussarbeiten der DEA in Nordost-Syrien: *Erdöl u. Kohle*, v. 16, p. 669-682.
- Wetzel, René, and Morton, D. M., 1959, Contribution à la géologie de la Transjordanie: *Notes et Mém. Moyen-Orient*, v. 7, p. 95-191.
- Wolfart, Reinhard, 1968, Stratigraphie und Fauna des Ober-Ordoviziums (Caradoc-Ashgill) und Unter-Silurs (Unter-Llandovery) von SüdJordanien: *Geol. Jahrb.*, v. 85, p. 517-551.

الفصل الثاني والعشرون

تطور الحياة

أصل الحياة
الاستحاثات
الانقراض والاستبدال
السجل المستحاثي
تطور الانسان

أسئلة
مراجع اضافية

تتكون El Capitan والواقعة في جبال Guadalupe من صخور الحجر
الجيري المرجاني البرمي . المساحة الجيولوجية الامريكية .



ان تطور الحياة جزء هام من التاريخ الجيولوجي . فهو يعتبر الرابطة بين
الجيولوجيا والبيولوجيا ، بالاضافة الى أنه اهم وسيلة للتاريخ الجيولوجي
للصخور . ولن تبحث هنا الا المظاهر الجيولوجية الاكثر أهمية فقط .

أصل الحياة

Origin of life

ان جميع الدراسات عن أصل الحياة ماهي الا تأملات ضرورية . فالحياة لا بد وانها بدأت مبكرة جدا في تاريخ الارض ، وربما على الاغلب حالما أصبحت برودتها مناسبة ، منذ حوالي ثلاثة بلايين سنة . وقد استعرضت أدلة بدء الحياة عند البحث في تطور الغلاف الجوي .

ومن المحتمل تكون الحياة في بيئة خالية من الاكسجين . أما اذا كان الاكسجين موجودا ، فان الاحماض الامينية التي هي نقطة بداية الحياة لا بد وانها تأكسدت . ومن الممكن ان يكون أقدم غلاف جوي قد تألف من الميثان والنشادر والهيدروجين وبخار الماء . ان هذا الغلاف الجوي لا يشابه أغلفة الكواكب الكبرى ، كالمشتري مثلا . وتشير تجربة بسيطة جدا الى كيفية بدء الحياة في مثل هذا الغلاف الجوي . فاذا مرت شرارة كهربائية ، شبيهة بالبرق ، في مزيج من تلك الغازات فانها تنتج احماضا امينية . ومن المحتمل ان طاقة الاشعة فوق البنفسجية الهائلة ، المحبوبة الان عن سطح الارض بغاز الاوزون في الغلاف الجوي ، قد سببت هذه التفاعلات . وفي هذه الحالة ، من المحتمل حدوث التفاعلات في المحيط . وربما تكونت الاحماض الامينية ايضا في محيطات ذات مكونات نتجت من غلاف جوي بركاني مشتق من أول اكسيد الكربون ، وثنائي اكسيد الكربون ، والهيدروجين ، والنيوتروجين ، وان تفاعلاتها قد انجزت بمساعدة اشعة الشمس فسوق البنفسجية .

ان الاحماض الامينية ليست كائنات حية ، ولا بد من تجميعها وتنظيمها .
فالخطوة الاولى هي انتاج البروتين . وتفترض التجارب بان هذه ، ايضا ، يمكن
ان توجد في نفس البيئة التي تتكون فيها الاحماض الامينية ، بالرغم من عدم
وضوح العمليات فانه يجب ان يتجمع البروتين ، ولا بد للتجمعات من التفاعل لتكوين
تراكيب اكثر تعقيدا حتى تتكون المادة الحية القادرة على التكاثر . وربما عملت
معادن الطين والكوارتز كعوامل مساعدة في تجمعات البروتين بأولوية امتصاصه
على اسطح المعادن بصورة منتظمة . ومن الأرجح حدوث هذه التفاعلات في
المحيطات . ان احدا من هذه التفاعلات لا يحدث حاليا في الطبيعة لاحتمال اكسدة
النواتج أو مهاجمتها بالبكتيريا . ومن ثم فانها ليست الطريقة التي تكونت فيها
الاشكال الجديدة من الكائنات الحية التي ستدرس لاحقا . فربما ظهرت الحياة
خلال مرحلة واحدة فقط في تاريخ الارض ، وان جميع صور الحياة نشأت من
النماذج التي خلقت في ذلك الوقت .

الاستحاثات

Fossilization

المستحاثات (١) هي اية أدلة على الحياة الماضية، وربما حفظت هذه الأدلة بعدة
طرق مختلفة . فعندما تموت معظم الحيوانات ، فان اجسامها تتدمر بسرعة ،
اذ تأكلها الحيوانات المتوحشة أو تتحلل بالبكتيريا . وهكذا فان الاستحاثات حدث
نادر نسبيا ، ولهذا السبب فان سجل الحياة الاستحاثي غير متكامل . وعموما ،
اذا احتوى الجسم على اجزاء صلبة ، فانها غالبا ما تحفظ ، ويصبح حفظ الجسم
مؤكد اذا ما دفن بسرعة . ولهذه الاسباب ، فان غالبية المستحاثات الشائعة
تتكون من اصناف حيوانات المياه البحرية الضحلة كالمحارات (٢) مثلا .

وتتكون المستحاثات بالطرق التالية : —

بحفظ (٣) جزء من الحيوان ، كصدفة المحار مثلا .

بالتصخر (٤) بواسطة استبدال أو إعادة تبلور الصدفية أو أي جزء
آخر من الحيوان . وهذا نوع شائع جدا من الاستحاثات ، وان معظم اصناف

المستحاثات يعاد تبلورها أو تستبدل . فالمياه الجوفية هي العامل الذي يسبب الاستبدال في معظم الحالات . فالسيليكات والكالسيت (٥) هي المعادن المستبدلة الرئيسية ، إلا أن كثيرا من المعادن الأخرى وجدت مستبدلة . فربما يملأ المعدن المستبدل الفراغات في المستحاثات ، كاحلال السيليكات في الخشب المتصخر ، أو ربما استبدلت في الحقيقة مادة المستحاثات نفسها . وهكذا ، في بعض الحالات، يمكن حفظ تراكيب داخلية حساسة جدا . إن بعضا من أفضل المستحاثات التي حفظت تراكيبها الداخلية وزخارفها (٦) السطحية هي التي استبدلت بالسيليكات في وسط حجر جيري . وفي مثل هذه الحالات ، يمكن الحصول على المستحاثات بسهولة وذلك بإذابة الحجر الجيري في وسط حامضي (الشكل ٢٢ - ٢١) .

وتتكون القوالب الداخلية (٧) للمستحاثات إذا ما أذيت المستحاثات ، وتركت حيزا فارغا (الشكل ٢٢ - ١١) .

وتتكون القوالب الخارجية (٨) إذا ملئت القوالب الداخلية بمعادن أو برواسب . وهذه هي الطريقة الأغلب شيوعا التي تحفظ فيها المستحاثات البحرية (الشكل ٢٢ - ١١ ، ب) .

يحدث التفتح (٩) إذا ضغطت مستحاثات كورقة شجر مثلا ، عموما على سطح متطابق ، وخرجت منها سوائها ، فانها تترك غشاء (١٠) كربونيا رقيقا . ويمكن حفظ الديدان والحيوانات الأخرى التي تخلو أجسامها من الأجزاء الصلبة بهذه الطريقة . إذ يمكن حفظ تراكيب دقيقة وحساسة بالفتح (الأشكال ٢٢ - ١ ج) و (٢٢ - ٥) .

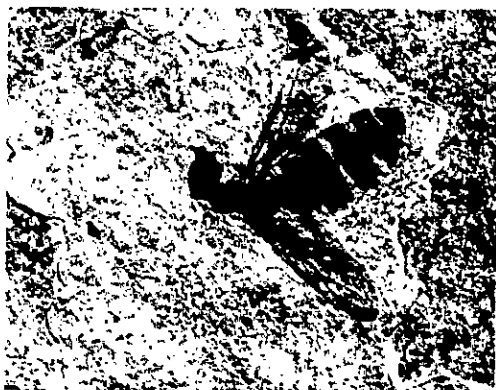
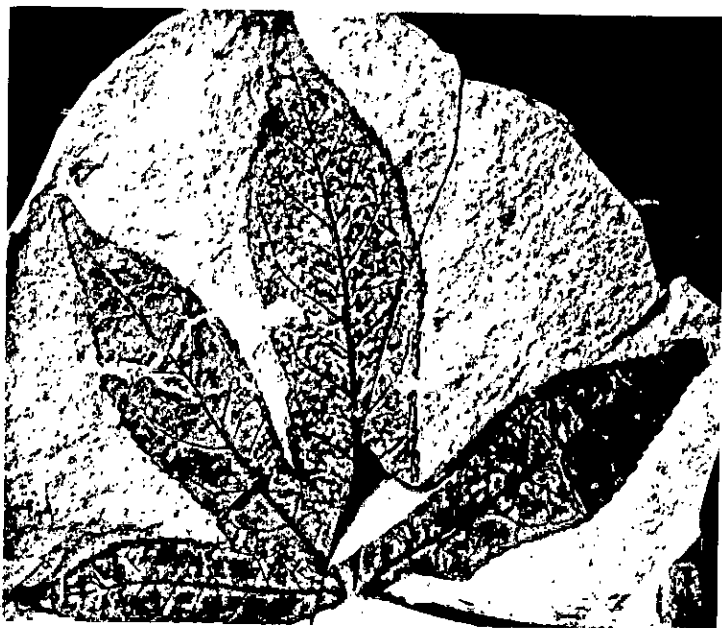
والآثار (١١) والحفر (١٢) هي أيضا أدلة على وجود الحياة . والبراز (١٣) أو الإفرازات المستحاثية ، تدل كثيرا على طبيعة تغذية الكائن المستحاث .

وقد اكتشفت الماموثات المجمدة (١٤) بجميع أجزائها كاملة . وهذه المصادفات ، بالطبع نادرة جدا (الشكل ٢٢ - ١ د) .

والحيوانات المحنطة (١٥) أيضا نادرة تماما . ويمكن أن يحدث ذلك أثناء

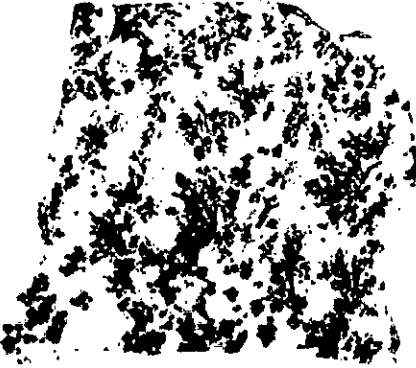
5. Calcite
6. Ornamentation
7. Molds
8. Casts
9. Carbonization
10. Film

11. Tracks
12. Burrows
13. Coprolites
14. Frozen Mammoths
15. Mummified





و



ز



هـ

الشكل (٢٢ - ١) : نماذج من المستحاثات .

(١) - تمثل الصورة التي تقع على اليسار قالباً خارجياً والتي على اليمين قالباً داخلياً لمستحاثات *Maclurites* ، وهي عبارة عن قوقعة من العصر الاوردوفيشي من منطقة نيويورك وطولها (٢) انش .

(ب) - تمثل صورة لقالب داخلي لمستحاثات توريتيلا *Turritella* وهي عبارة عن قوقعة من العصر المكريتاسي وطولها (٢) انش .

(ج) - تمثل غشاء رقيقاً لغصن متفحم من عصر الميوسين في منطقة الاوريجون .

(د) - تمثل الصورة التي تقع على اليسار حشرة محفوظة في عنبر من عصر الاوليوجوسين في شرق بروسيا ، والتي على اليمين صورة لحشرة محفوظة على هيئة غشاء كروني رقيق .

(هـ) - ماموت *mammoth* رضيع وجد متجهداً في الاسكا .

(و) - خشب متصفر جزئياً بالسيليكا .

(ز) - مستحاثات غير حقيقية : فالبنات الظاهرة في هذه العينة والمكونة من المعيق غسبر عضوية .

(المينات (١) ، ب) من مؤسسة العلوم الطبيعية العالمية ، والمينات (ج ، د ، و ، ز)

من المعهد السيشوني ، والعينة (هـ) من المتحف الامريكي للعلوم الطبيعية) .

اصطياد حيوان وسقوطه في نزاز قطراني (١٦) الذي يحول دون تحليل جسمه .

الانقراض والاستبدال

Extinction and replacement

لا بد من الاخذ بعين الاعتبار الاسئلة التي تبحث لماذا، وكيف تغيرت الحياة على سطح الارض خلال الزمن الجيولوجي (١٧) قبل فحص السجل المستحاثي (١٨) . وهذا يؤدي الى مشاكل تطور الانواع وانقراضها . وهذه مشاكل بيولوجية عامة ، ولكن يمكن معالجة مظاهر قليلة فقط هنا .

لقد عرف أصل الانواع بصورة عامة منذ أن نشر دارون كتابه بهذا العنوان . وصاحبت دارون عبارة « البقاء للأصلح » . وبها عنى دارون بأنه توجد منافسة على الغذاء المتوفر في كل بيئة وإن تلك الافراد التي تكيفت افضل مع البيئة اقدر على البقاء والتكاثر . فعندما تكون الانواع المختلفة متنافسة على الغذاء في بيئة ما ، فإن الانواع التي تكيفت افضل ستفوز بالنهاية .

وقد حدث بعض من اهم التغيرات الواضحة في الحياة في الازمنة التي تغيرت عندها البيئات ، مثل تراجع البحار عن القارات . ويمكن أن يكون هذا ظاهرا أكثر منه واقعا على أي حال ، لان الزمن الذي حصل فيه هذا التغير غير مسجل . فعندما تتغير البيئة فإن النوع يستطيع أن يفعل واحدا من ثلاثة اشياء : إما أن يهاجر ، أو يتلاءم مع البيئة ، أو أن يفنى نهائيا . وإن ما يفعله النوع ربما يعتمد على مدى تخصصه . فبعض الحيوانات البسيطة جدا كالاسفنجيات (١٩) قد ثابرت على الغالب دون تغير من البريكامبري الى الوقت الحاضر ، في حين أن من الانواع الاخرى ما لم تستطع متابعة الحياة . أما أسباب انقراضها فهي غير بسيطة أبدا . وعموما ، فلا بد من أن تكون تخمينية لنقص الأدلة .

ولقد قيل بأن الاوبئة المرضية هي السبب في الانقراض الجماعي في الزمن الجيولوجي الماضي . إلا أن الجراثيم المرضية المسببة للمرض تهاجم عموما نوعا منفردا فقط وبالتالي لا يستطيع هذا أن يفسر انقراض الانواع العديدة ، كقضاء

جميع الداينصورات (٢٠) عند نهاية العصر الكريتاسي (٢١) مثلا .
وتغير المناخ هو اعم واشهر تفسير لتوضيح الانقراضات الجماعية . وفي كثير
من الازمنة الجيولوجية الماضية التي حدثت فيها الانقراضات الجماعية ، حدث
فيها ايضا بناء جبال وانحسار بحار . وغيرت هذه التغيرات ، بطبيعة الحال ،
المناخ بشكل فعال . ويمكن ان يغير المناخ ايضا الجرف القاري (٢٢) . فكثير
من الانواع لا تكون قادرة على التكيف أو الهجرة فتفنى نهائيا ، وتظهر أنواع
جديدة افضل تكيفا مع البيئة . ولكن يكشف فحص النظرية عن قرب عيوبها فيها .
ففي ازمة الانقراضات العظيمة ، يتغير الخلق الحيواني بشكل فعال دون
النباتات ، وهذه تظهر بأنها حساسة للمناخ مثل الحيوانات وربما اكثر منها .
وقد سجلت اخر الاحداث الجليدية تقلبا مناخيا ، الا ان الانقراضات التي
صاحبته ، والتي ستوصف فيما بعد ، حدثت بعد تقدم الرواسب الجليدية
الرئيسية بزمان طويل .

والتغير الناتج عن الاشعاع الفضائي هو احدث نظرية لتعليل الانقراض
الجماعي . وقد افترض في البداية ان الاشعاع الصادر من انفجارات سوبرنوفات
(نجوم وامضة) ربما يكون مسؤولا عن ذلك . ثم قيل مؤخرا بأنه في الازمنة التي
ينعكس فيها المجال المغناطيسي الارضي ، فان النقص المؤقت في أي مجال
مغناطيسي يسمح بوصول جسيمات ذات طاقة عالية من الشمس الى الارض .
ومن الطبيعي ان يتصيد المجال المغناطيسي الارضي هذه الجسيمات في ازمة
فان آلين ، التي وصفت في الفصل الثاني . فاذا وجد هذا التأثير فعلا في الازمنة
الماضية ، على كل حال ، فانه يسارع عملية التطور باحداث تقلبات اكثر . ولا
بد ان يكون هذا التأثير اكثر وضوحا على الكائنات التي سكنت الارض . وكما
لوحظ سابقا ، فان النباتات اقل تأثرا عند ازمة الانقراض الجماعي ، وفي معظم
تلك الازمنة فان الكائنات الحية البحرية ، التي تحصنت نوعا ما من الاشعاع
بالبحر ، كانت هي الأكثر تأثرا . وعلى كل حال ، فانه قد لوحظ وجود علاقات
ظاهرة بين التغيرات المستحاثية والانعكاسات المغناطيسية .

وهناك احتمال آخر في أن انواعا كثيرة لا بد أن تتكيف أو تموت اذا ، ما ابيد بطريقة ما ، أحد العناصر التي تعتمد عليها في غذائها . وهذا يجعل المشكلة محصورة في ايجاد سبب ما لموت نوع واحد فقط بدلا من موت جميع المخلوقات . وكثير من النظريات المطروحة اعلاه تستطيع أن تفسر موت النوع الواحد . وكثير من

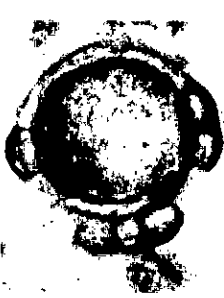
الانقراضات الجماعية كانت مصحوبة بانحسار بحري ، مما يوحي بأن حادثا كهذا ربما يقلص بيئة نوع معين ما ، ويؤدي الى فناء العديد من الانواع التي تعيش عليه . ثم تتطور انواع جديدة عندما تتقدم البحار مرة ثانية ، وتتسع البيئات .

وهناك صورة أخرى لهذه النظرية ، هي أن معظم كائنات المحيط الحية تتأثر اذا ماتت الاحياء الهائلة (٢٣) لانها بصورة مباشرة أو غير مباشرة ، هي الغذاء لمعظم الكائنات الحية في المحيط . وتشير السجلات الى حدوث فناء كهذا لبعض الاحياء الهائلة على الأقل . فرواسب طباشير عصر الكريتاسي الاخير ، التي تتألف في الغالب كلية من اصداف الاحياء الهائلة ، تكثر في اجزاء كثيرة من العالم ، وتشير هذه الرواسب والرواسب الاخرى للكريتاسي الاخير بأنها كانت في زمن تجوية قليلة في عدد من الاماكن على القارات . لذلك يظهر بأن هذا النقص الذي نتج من التجوية قد خفض كمية المواد الغذائية غير العضوية في المحيط وتسبب هذا في موت الاحياء الهائلة .

السجل المستحاثي

The fossil record

لقد اكتشف قليل جدا من مستحاثات الحتبة البريكامبرية المؤكدة . ومعظم المستحاثات البريكامبرية المزعومة اما ذات اصل غير عضوي او قد ثبت بأنها أحدث عهدا . ومن احسن أمثلة المستحاثات البريكامبرية المستحاثات الدقيقة الموجودة في الصخور الصوانية (٢٤) والتي اكتشفت على الشاطئ الشمالي لبحيرة سوبيريور . وقد قدر عمرها بحوالي بليون سنة (الشكل ٢٢-٢٣) . ويرى الشكل (٢٢ - ٣) مستحاثات بريكامبرية محتملة أخرى . ان عمر



الشكل (٢٢ - ٢) : مستحاثات دقيقة وجدت في حجر الصوان في حقب العصر

البريكامبري .

(أ) عقد خيطية رفيعة تشتمل على نوع *Gunflintia minuta* وعلى غبيرات من جنس

Huroniospora ، قطرها ٢٠ م .

(ب) - خليط من *Entosphaeroides amplus* وغبيرات وإنبوط دقيقة قطرها (٤٠) مايكرون .

(ج) - ربما تمثل طحالب خيطية من نوع *Animikiea septata* قطرها (٥٠)

مايكرون .

(د) و (هـ) : يحتمل أن تكون صورا لبكتيريا حديدية وطحالب زرقاء ضاربة للخضرة .

(و) : تمثل نوع *Eosphaera tyleri* ، قطرها يصل إلى (٣٢) مايكرون .

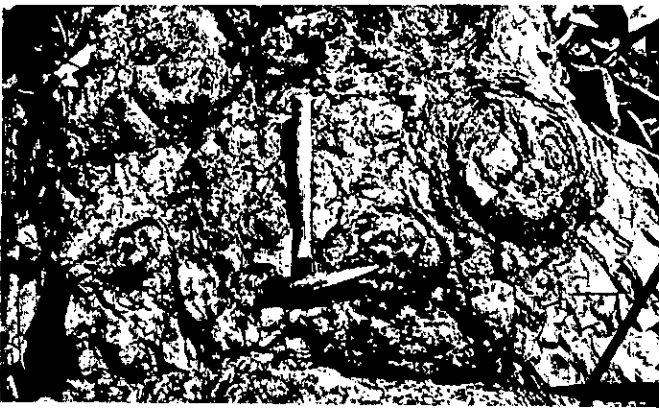
(ز) و (ح) : تمثل نوع *Kakabekia umbellata* ، قطرها يتراوح ما بين

(٢٠ - ١٢) مايكرون على الترتيب .

(ط) : بنية منشعكة لستعميرات بكتيرية من الماغنيسيوم وأكاسيد الحديد .

الصور : أ ، ب ، ج ، و ، ز ، ط من مؤسسة E. S. Barghoorn

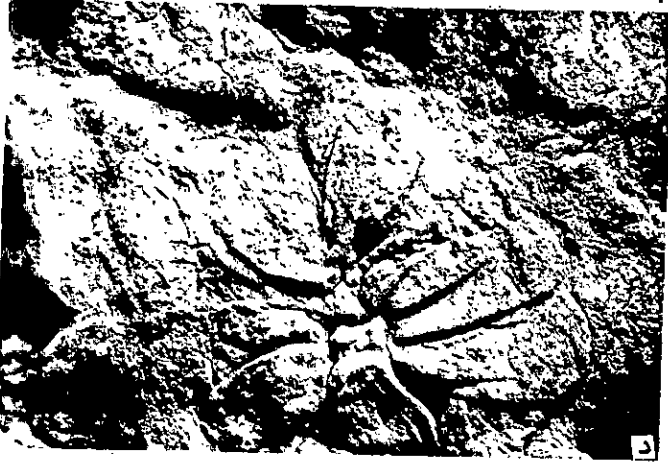
الصور : د ، هـ ، هـ من مؤسسة P. E. Cloud, Jr.



ج



د



د



د

الشكل (٢٢ - ٣) : مستحاثات كبيرة من حقبة البريكاميري :

(١) - يحتمل أن تمثل علامات أو أنابيب إما لكائنات عاشت قريباً من القاع أو داخل أنابيب . *Rhysonetron lahtii* . بعض المديدان تترك علامات مشابهة لذلك ، وقد قدر عمرها في الصخور الرسوبية بما بين (٢ - ٢٥) مليون سنة . والمقياس هنا بالسنتيمترات . (الصورة من دائرة المسح الجيولوجي الكندية في مقاطعة أونتاريو من مؤسسة *H. J. Hofmann* والتي وصفت هذا النوع لأول مرة) .

(ب) منظر عازي و (ج) منظر جانبي للنوع *Collenia undosa* . ويعتقد بأنها من النباتات الطحلبية وعمرها حوالي مليون سنة . وجدت في المتحف الوطني الثلجي بمونتانا (الصورة من دائرة المسح الجيولوجي الأمريكية) .

(د) يعتقد بأنها *Brooksella canyonensis* من الأسماك الهلامية التي وجدت في صخور حقبة البريكاميري في وادي جراند كانيون بولاية كولورادو ، وطولها (٢٥) إنش . (الصورة من المتحف الوطني) .



الشكل (٢٢ - ٤) : علامات خروز وخدوش مستحانة الترايلوبايت trilobites

يمكن مشاهدة مثل هذه العلامات في صخور الكمبري .

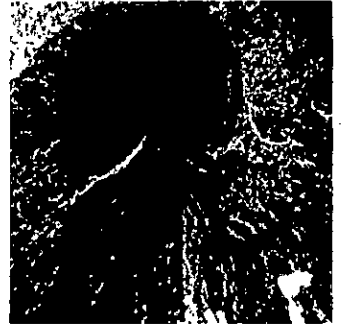
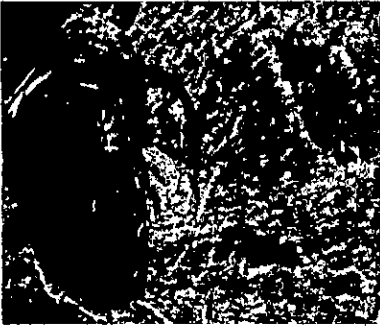
(١) ، (ج) - عبارة عن اجزاء من صخور نظام ناما في جنوب غرب افريقيا ، وجدت

في بئر اخترق طبقات تحتوي على الترايلوبايت .

(ب) ، (هـ) ، (د) ، (ز) - من تكوين النبع العميق ، في الجبال البيضاء

التي هي (الصورة بـ ١٠ - ١١ - ١٢ - ١٣ - ١٤ - ١٥ - ١٦ - ١٧ - ١٨ - ١٩ - ٢٠ - ٢١ - ٢٢ - ٢٣ - ٢٤ - ٢٥ - ٢٦ - ٢٧ - ٢٨ - ٢٩ - ٣٠ - ٣١ - ٣٢ - ٣٣ - ٣٤ - ٣٥ - ٣٦ - ٣٧ - ٣٨ - ٣٩ - ٤٠ - ٤١ - ٤٢ - ٤٣ - ٤٤ - ٤٥ - ٤٦ - ٤٧ - ٤٨ - ٤٩ - ٥٠ - ٥١ - ٥٢ - ٥٣ - ٥٤ - ٥٥ - ٥٦ - ٥٧ - ٥٨ - ٥٩ - ٦٠ - ٦١ - ٦٢ - ٦٣ - ٦٤ - ٦٥ - ٦٦ - ٦٧ - ٦٨ - ٦٩ - ٧٠ - ٧١ - ٧٢ - ٧٣ - ٧٤ - ٧٥ - ٧٦ - ٧٧ - ٧٨ - ٧٩ - ٨٠ - ٨١ - ٨٢ - ٨٣ - ٨٤ - ٨٥ - ٨٦ - ٨٧ - ٨٨ - ٨٩ - ٩٠ - ٩١ - ٩٢ - ٩٣ - ٩٤ - ٩٥ - ٩٦ - ٩٧ - ٩٨ - ٩٩ - ١٠٠)

أقدم المستحاثات المحتملة ذات الحياة المتطورة يتراوح من ٢ — ٢٥ مليون سنة وربما كانت قوالب خارجية أو علامات لديدان (الشكل (٢٢ — ١٣)) .



الشكل (٢٢ — ٥) : غصن البيرجس Burgess Shale ، من جبل وبتا Wapta

في كولومبيا البريطانية . أمكن الحصول على (١٣٠) مستحاثاته محفوظة حفظاً جيداً من هذا الغصن الذي نسب إلى عصر الكمبري الأوسط . (أ) — تجميع المستحاثات . وقد وجدت المستحاثات الأولى بالصدفة في عام ١٩٠٩ . (ب) — من المفصليات ويطلق عليها *Waptia fieldensis* وهي تشبه الجعبري . (ج) — دودة : ويطلق عليها *Canadia setigera* (د) — من المفصليات ويطلق عليها *Marrella splendens* وتشبه الترايلوبايسست . (هـ) تسمى *Leandroia superlata* . (و) تسمى *Burgessia bella* (الصورة من المعهد السيشوني) .

وتوجد أولى المستحاثات الوفيرة فجأة عند قاعدة الكمبري (٢٥) . ونظرا لانها اشكال من الكائنات متطورة جيدا ، ومتقدمة وتظهر فجأة في هذا المستوى ، فذلك يدل على أن الحياة لا بد وانها كانت موجودة سابقا منذ زمن طويل (الشكل (٢٢ — ٤)) . ويؤيد هذا الرأي قلة من مستحاثات بريكامبرية وصخور كربونية . فالتفسير المعقول لذلك يكمن في أن قاعدة الكمبري تعين الزمن الذي بدأت فيه الحيوانات ببناء اصداف أو قشور لها ، أو أن مكونات الاصداف تغيرت عند ذلك الوقت من مادة غنية بالمادة العضوية الى مادة فقيرة بها . وقيل

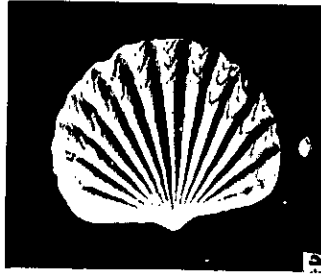


الشكل (٢٢ — ٦) : ترايلوبايت يطلق عليها *Elrathia kingi* ، من عصر الكمبري الاوسط ، وطولها انش واحد (الصورة من مؤسسة العلوم الطبيعية المتقدمة

(Rochester, N.Y.

ذلك الزمن ، ربما كانت اجسام الحيوانات لينة ومن ثم فلم تحفظ . وتأيدت هذه النظرية باكتشاف عدد من الاغشية الكربونية المبسطة ، وقد حفظت جيدا حتى لقد ظهر لها شعر دقيق ، وهي لاجسام حيوانات لينة من عصر الكامبري الاوسط ، في موقع واحد على جبال روكي الكندية ، شريبا من منطقة فيلد بولاية

كولبيا البريطانية (٢٦) . وهذه الحادثة هي السجل المستحاثي الوحيد في العالم كله لهذه الحيوانات ، وهو المكان الوحيد الذي حفظت فيه اجزاء رخوة من اجسام الاحياء . ان حفظها يتطلب وجود عدة ظروف غير عادية (الشكل (٢٢ - ٥)) .



الشكل (٢٢ - ٧) : نماذج لمستحاثات لافقارية ظهرت لأول مرة في صخور عصر الكمبري ومعظمها احدث من الكمبري .

(ا) ، (ب) ، (ج) ، (د) — مسرجيات تكثرت في عدد من صخور حقب الحياة القديمة . وتتألف هذه من مصراعين غالبا ما تلتصق على الرواسب القاعية بواسطة ساق يخرج من فتحة من خط المفصل الظاهر في اعلا المصراعين .

(ا) تسمى *Rafinesquina alternata* من العصر الاوردوفيشي ، وجدت في ولاية اوهايو ، وطولها انشان .

(ب) تسمى *Lepidocyclus capax* من العصر الاوردوفيشي ومن ولاية اوهايو ، وطولها نصف انش .

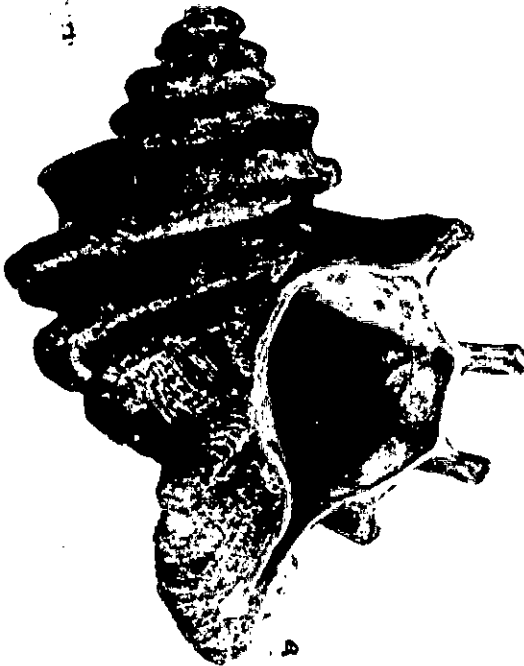
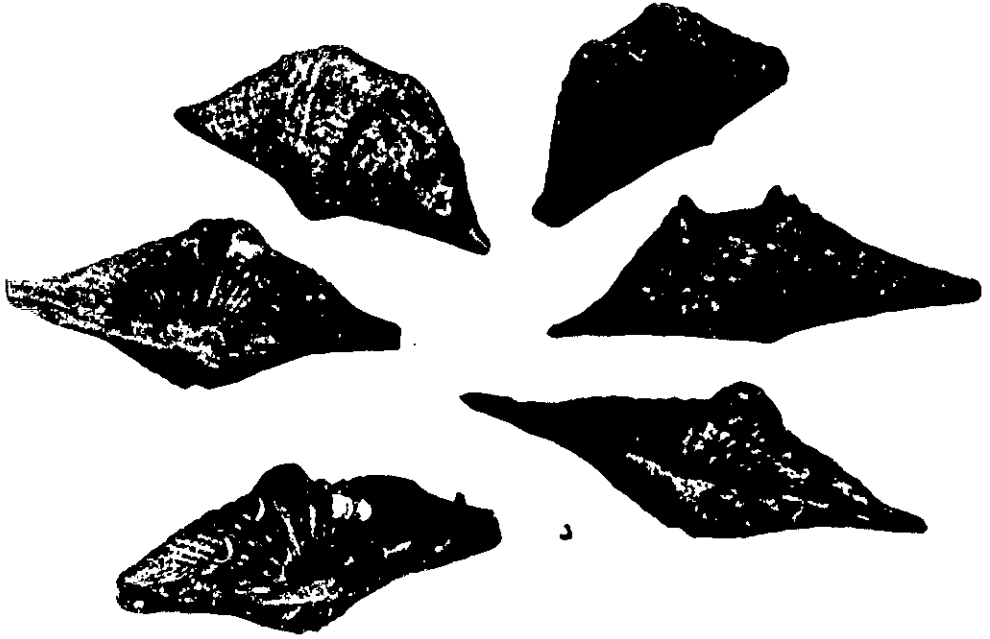
(ج) — تسمى *Athyris Spiriferoides* من العصر الديفوني ومن ولاية نيويورك ، وطولها انش واحد .

(د) تسمى *Mucrospirifer Mucronatus* من العصر الديفوني ، طولها حوالي انش واحد .

(هـ) قوقع يسمى *Ecphora Quadricosta* من عصر الميوسين .

(و) — قطعة اسفنج *Raphidonema Faringdonensis* من عصر الكريتاسي ومن منطقة انجلترا . (الصورة من مؤسسة وورد للعلوم الطبيعية في روتشستر بولاية نيويورك) .

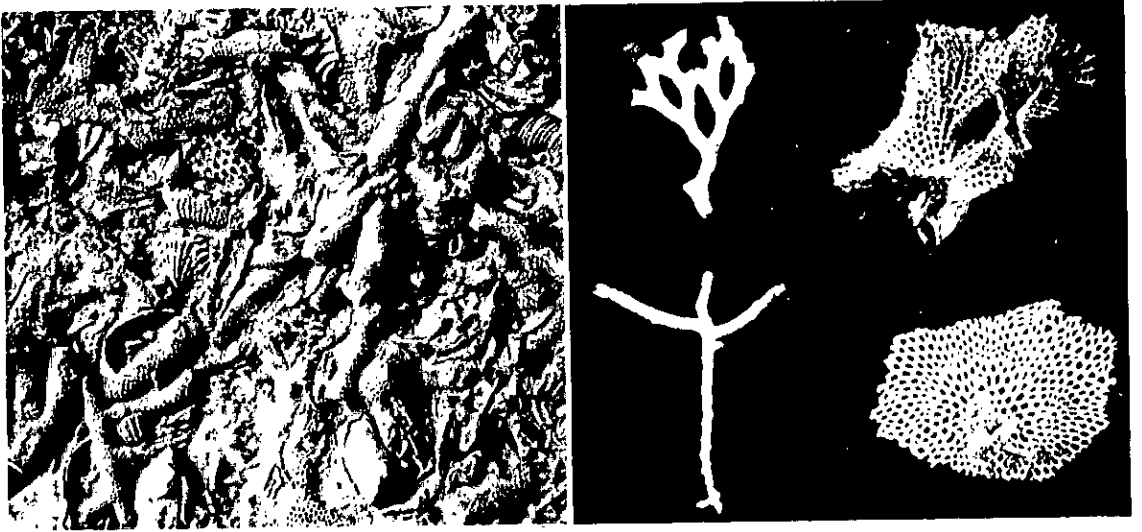
بدأت الحياة في أوائل الحقبة القديمة - باليوزويك - (٢٧) في البحر . وكانت
التريلوبيات (٢٨) أهم احياء الكمبري، ويعتبر بعض منها مستحاثات مرشدة له . وهي
من طائفة المفصليات وتشبه نوعا ما سرطان الماء العذب (٢٩) (الشكل (٦-٢٢))



27. Early Paleozoic

28. Trilobites

29. Crayfish



ب

الشكل (٢٢ - ٨) : الاوليات bryozoa تبني هذه الحيوانات مستعمرات معتددة التركيب على ارضية البحر ويشغل الحيوان كل فتحة فيها . تبدو التراكيب على هيئة اشربة او احجار او اغصان . وتتواجد مستعمرات الاوليات على شكل كسارات لان المستعمرة تنكسر بعد موتها . (١) - اوليات من العصر السيلوري وجدت في Lockport في منطقة Rochester Shale بنيويورك . يمكن مشاهدة بعض من المرجان يسكن المستعمرات الاولى (ب) - اوليات من العصر البيري ، وجدت في جبال الرمل الزجاجي في ولاية تكساس (الصورة من المعهد السيشوني) .

وبالرغم من أن الترايلوباييت صمدت في اعداد متناقصة خلال الحقبة الباليوزويكية فان انقراضا عظيما يبدو انه حدث بالقرب من نهاية الكمبري . ولم يحدث انحسار للبحار في أمريكا الشمالية عند زمن الانقراض هذا . وظهرت ايضا الاسفنجيات والمرجيات (٢٠) ، والقواقع (٢١) في الكمبري (الشكل (٢٢ - ٧)) . وعلى الاغلب فان معظم اشكال الحياة اللائقارية البحرية الاخرى ظهرت لأول مرة في اواخر الكمبري او في بداية الاوردوفيشي (٢٢) ، من امثال المرجان (الشكل (٢٢ - ٢٩)) ، والمحارات (٢٣) (الشكل (٢٢ - ٣٥)) والاوليات (٢٤)

- 30. Brachiopods
- 31. Snails
- 32. Ordovician

- 33. Clams
- 34. Bryozoa



الشكل (٢٢ - ٩) : جلد شوكيات . تتميز أفراد هذه الطائفة بالفناسق الخماسي ، وتنقسم إلى فئتين : الأولى مبنية بساق له جذور بارز البحر وتضم الكيسيات والبرعميات والزنبقيات ، والثانية تسبح في البحر ومنها النجميات والقنفذيات . (١) - برعم يسمى *Pentremites* ، من ولاية الينوي ، ومن عصر الميشتيني وطولها انش ونصف . (ب) - قنفذة تسمى *Eupatagus floridanus* وجدت في Ocala limestone ، من عصر الايوسين ، وفي منطقة فلوريدا . (الصورة من مؤسسة وورد للملوم الطبيعية في روتشستر بولاية نيويورك) .

(الشكل ٢٢ - ٣٢) () والزنبقيات (٣٥) والكيسيات (٣٦) والبرعميات (٣٧) (الشكل (٢٢ - ٩)) والنوتيلودات (٣٨) (الشكل (٢٢ - ٣٢)) . والجرابتوليتات (٣٩) (الشكل (٢٢ - ١٠)) . أما الأخيرة فهي مستحاثات برشدة ، وعلى الاخص للوردوفيشي . ويبين الجدول (٢٢ - ١) التقسيم البيولوجي للحياة التي ذكرت كما يلي :

- 35. Crinoids
- 36. Cystoids
- 37. Blastoids

- 38. Nautiloids
- 39. Graptolites

الجدول (٢٢ — ١) : التقسيم البيولوجي للحياء المكونة للمستحاثات :
١ — التقسيم النهجي مع الامثلة : —

Kingdom	مملكة	Animalia	حيوانات
Phylum	قبيلة	Chordata	حبليات
Class	طائفة	Mammalia	الثدييات
Order	رتبة	Primate	اللبائن
Family	عائلة	Hominidae	هومينيدات
Genus	جنس	<i>Homo</i>	هومو
Species	نوع	<i>sapiens</i>	سابينز
Individual	الفرد	John Doe	جون دو

ومعظم الكائنات تعرف بالجنس (٤٠) والنوع (٤١) وتكتب بأحرف مائلة (٤٢)

٢ — تقسيم مبني على أهم الكائنات المكونة للمستحاثات : —

Kingdom Protista	مملكة الاوليات
Phylum Schizomycetes—bacteria	قبيلة البكتيريا — بكتيريا
Phylum Sarcodina—foraminifers, radiolarians	قبيلة الساركودينا — منخريات ، راديولاريا
Kingdom Animalia	المملكة الحيوانية
Phylum Porifera—sponges	قبيلة الاسفنجيات — اسفنج
Phylum Coelenterata	قبيلة الجوفعمويات
Class Anthozoa—corals	طائفة الانثوزوا — المرجانيات
Phylum Bryozoa	قبيلة الاوليات
Phylum Brachiopoda	قبيلة المسرجيات
Phylum Mollusca	قبيلة الرخويات
Class Pelecypoda—clams, oysters	طائفة المحاريات — المحار ، أويستر

Order Dendroidea—dendroids

رتبة الجرابتوليت الشجرية — الديندرويديا

Order Graptoloidea—graptolites

رتبة الجرابتوليت — الجرابتوليت

Subphylum Vertebrata

تحت قبيلة الفقاريات

Superclass Pisces—fish

فوق طائفة الاسماك

Class Amphibia

طائفة البرمائيات

Class Reptilia

طائفة الزواحف

Class Aves—birds

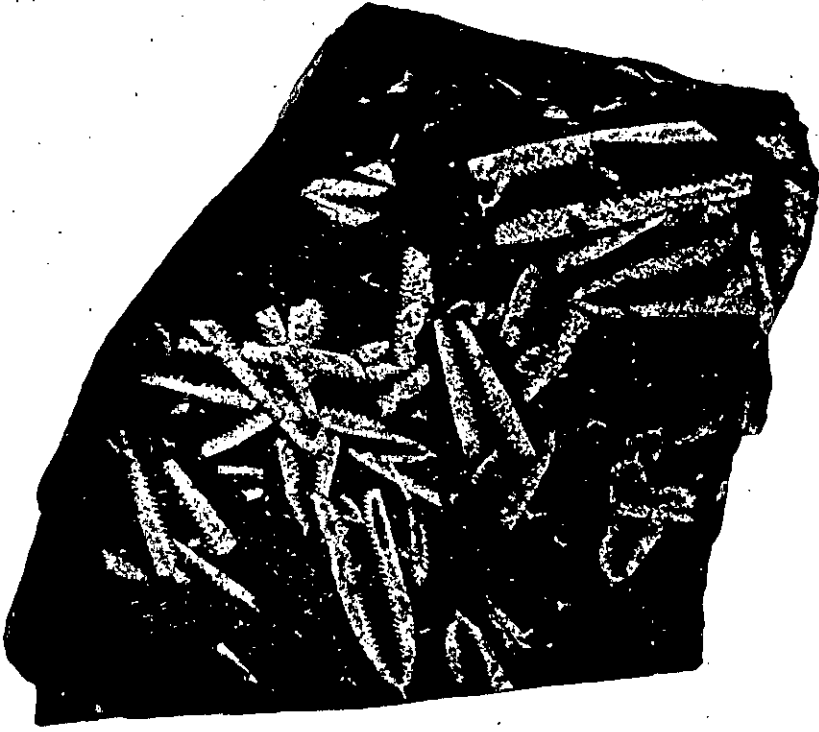
طائفة الطيور

Class Mammalia

طائفة الثدييات

يبين الشكل (٢٢-١١) أهمية أنواع المستحاثات المختلفة في التاريخ الجيولوجي . ويرى هذا التخطيط أي أصناف الكائنات الحية لها الصفات لأن تكون مستحاثات دالة وأي أصناف المستحاثات قد درست بعناية تكفي لأن تستعمل في التاريخ .

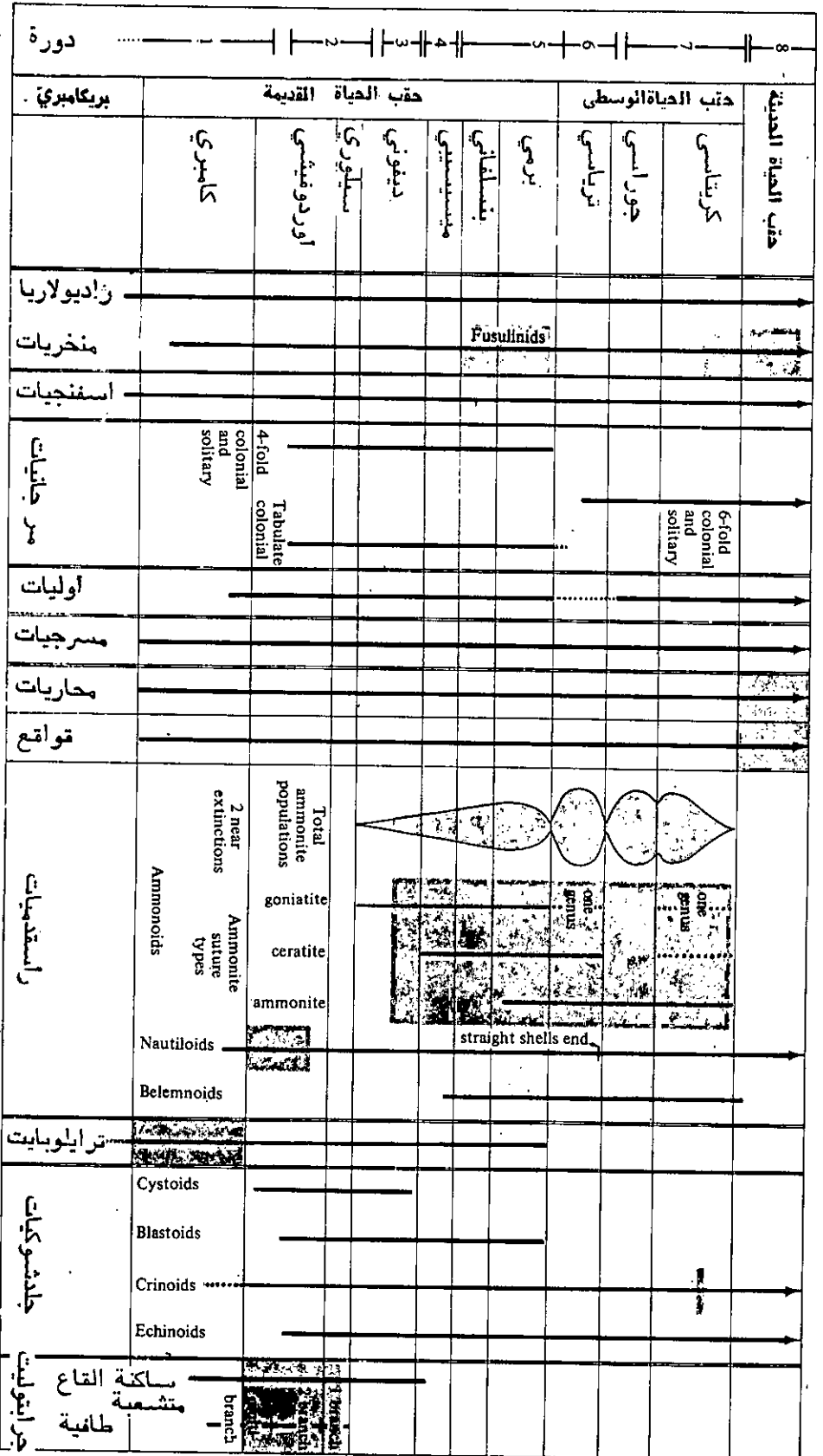
والتغيرات في اللافقاريات البحرية أثناء التاريخ الجيولوجي واضحة حتى للإنسان العادي ، ولهذا السبب فمن الممكن استعمال مثل هذه المستحاثات في تأريخ الصخور المحتوية عليها (الشكل (٢٢ - ١٢)) . وليست التغيرات بين المراحل عظيمة إلى هذا الحد ولكنها تتضح تماما للإنسان المتمرس . وتوجد أعظم التغيرات وضوحا بين المراحل المتتالية بين العصرين الكمبري والاوردوفيشي وبين البيري (٤٣) والترياسي (٤٤) وبين الكريتاسي والسينوزويكي (حقب الحياة الحديثة) (٤٥) . وتوجد تغيرات واضحة أيضا عند نهاية الاوردوفيشي والديفوني (٤٦) ، والترياسي . ولا تأتي جميع هذه التغيرات الواضحة عند نهاية الحلقات المذكورة في الفصل الحادي والعشرين ، وهذه مشكلة ستترك بدون حل حتى يمكن الحصول على معلومات أقوى . وتظهر التغيرات التي

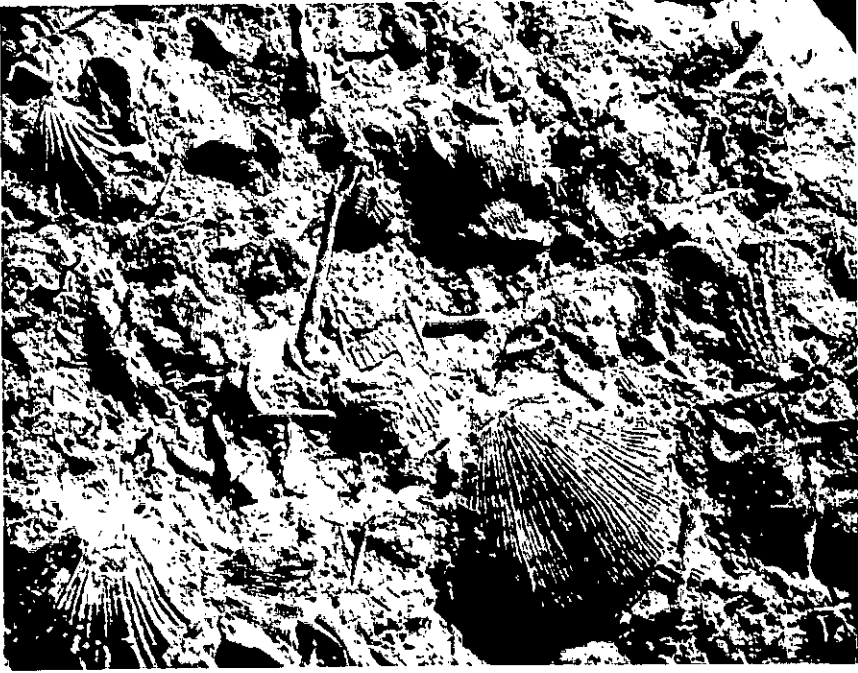


الشكل (٢٢ - ١٠) : جرابتولينات Graptolites تظهر مستحاثات هذه الحيوانات الفضولية على هيئة علامات اقلام الرصاص على الصخور ، فقد كانت مستعمرات حيوانية ، حيث عاش حيوان مستقل في كل فرع من فروع الاسنان المتشعبة الشكل . ونظرا لتدلي وعوم سيقان هذه الحيوانات ، فان مستحاثاتها تتواجد في جميع اليبئات البحرية . فقد نشأت بسرعة في اواخر عصر الكمبري وبداية العصر الاوردوفيشي وكانت متعددة الافرع ، الا انها صارت ثنائية الافرع في اثناء العصر الاوردوفيشي الاوسط والاعلى ، في حين انها أصبحت وحيدة الافرع في العصر السيلوري وانقرضت بنهايته . الصورة لمستحاثة *Didymograptus* من العصر الاوردوفيشي الاوسط والاعلى . (الصورة من مؤسسة وورد للعلوم الطبيعية في برونتشتستر بولاية نيويورك) .

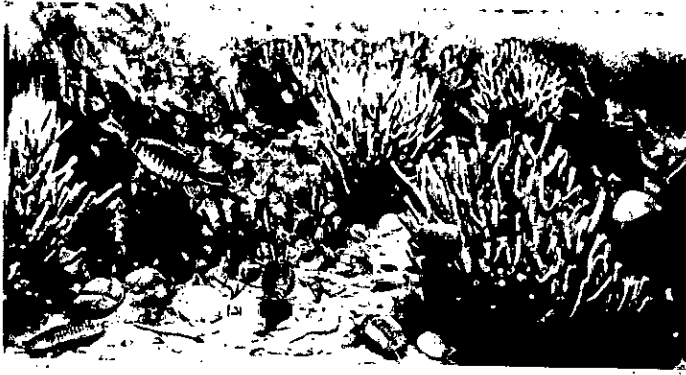
حدثت من خلال تتبع حياة الزمن الجيولوجي الماضي (الاشكال (٢٢ - ١٣) و (٢٢ - ١٨)) . وهذه مبنية على مستحاثات وجدت في صور مثل تلك المبنية في (الشكل (٢٢ - ١٢)) . وحين النظر الى هذه الاشكال ، فانه يسهل جدا ان ننسى الأدلة التي بنيت عليها .

لقد ظهرت اول الفقاريات في اواخر الاوردوفيشي . وقد كانت أسماكا ، لانها ، تشبه اللافقاريات ، حيث ان الفقاريات بدأت حياتها في المحيط . فالادلة الوحيدة على وجودها هي الفلوس (٢٧) وقطع العظام التي وجدت في حجر رملي في ولاية كولورادو . ولم تكثر الاسماك فعلا الا حتى اواخر السيلوري (٢٨) . وقد كانت

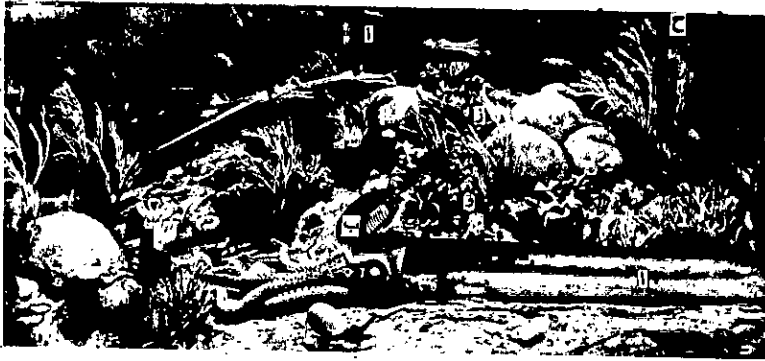




الشكل (٢٢ - ١٢) : مفاصلة مختصرة بين قطعتين صخريتين غنيتين بالمستحاثات ، تظهر فيها التفجرات العظيمة في أنواع الكائنات الحية التي تواجدت خلال الزمن الجيولوجي . (ا) - مستحاثات من عصر الكربون البنسلفاني ، من ولاية كنساس ، ويتألف معظمها من أوليات ومسرجيات (الصورة من مؤسسة وورد للعلوم الطبيعية في روتشستر بولاية نيويورك) . (ب) - مستحاثات من عصر الميوسين من ولاية فرجينيا تكثر فيها القواقع والمحاريات . (الصورة من W. T. Lee ، المساحة الجيولوجية الأمريكية) .



الشكل (٢٢ - ١٢) : اعادة تشكيل أرضية بحر الكمبري الأوسط (الحلقة الاولى) في شمال غرب أمريكا . تشتمل المستحاثات على حيوانات ذات أجسام لينة ذكرت في الشكل (٢٢ - ٥) .
(١) - حيوانات شبيهة بالاسفنج . (ب) تسمى *Marrella* وهي من المفصليات .
(ج) دودة . (د) سمكة هلامية .
ويظهر بالإضافة الى ذلك عدد من الترايلوبياتات .
(الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .



الشكل (٢٢ - ١٤) : أرضية بحر الاوردوغيشي الأوسط (الحلقة الثانية) من شمال الى وسط الولايات المتحدة .
(١) - اصداف مستقيمة من رباعيات الخياشيم وقرية الشبه بالحبار *squids* . (ب) - ترايلوبيات *Trilobites* . (ج) - قواقع . (د) - مستعمرات مرجانية . انظر الشكل (٢٢ - ٥) .
(هـ) - مرجان منفرد مع اهداب . (و) - مسرجيات *Brachiopods* . (ز) - اوليات .
(ح) - اعشاب بحرية . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .



الشكل (٢٢ - ١٥) أرضية بحر العصر السيلوري الاوسط (الحلقة الثانية) — من شمال إلى وسط الولايات المتحدة .
 (١) — زنبقة كبسية *Cystoid* . (ب) — مرجان سداسي يسمى فانوزيسيت *Favosites* . (ج) — مرجان سداسي يسمى هاليسيت *Halysites* . (د) — مرجان انبوبى يسمى سيرينجوبورا *Syringopora* . (هـ) — انواع عديدة من رفاعيات الخياشيم . (و) — نوعان من المرجانيات . (ز) — ترانلوبيت ، انواع عديدة منها تظهر في الصورة . (ح) — نوعان من المرجان المفرد . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .



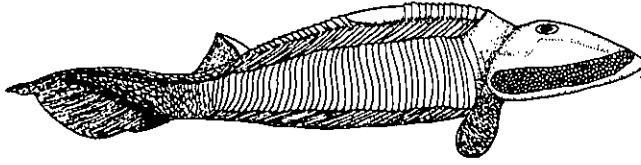
الشكل (٢٢ - ١٦) : أرضية بحر العصر السيلوري الاخير (الحلقة الثانية) في نيويورك تظهر في الصورة عدة انواع من العقارب المائية ومعها قواقع (انظر الشكل (٢٢ - ٢٣) . يعتقد بان هذه العقارب قد عاشت في بيئات غير عادية كالبيئات البحرية الضحلة المحصورة بالمحلة . (١) — تسمى *Carcinosoma* . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .



الشكل (٢٢ — ١٧) : ارضية بحر عصر الديفوني الاخير (الحلقة الثالثة) لفـروب
نيويورك . (ا) — اوليات . (ب) — زنابق Crinoid . (ج) — مستعمرات مرجانية
(د) مستعمرات مرجانية وحيدة . تظهر عدة أنواع من المستحاثات والمغالب فيها المرجان .
(هـ) — راسقمة ملفوفة . (و) رباعية خياشيم nautiloid مستقيمة . (ز) —
ترايلوباييت شوكية ، ويمرّى ظهور الاشواك فيها للدفاع ضد الاسماك التي ظهرت متزامنة معها .
(ح) — مسرجيات ، ويبدو ان هناك انواعا اخرى ملتصقة بالمرجان . (ط) — اسفنجية
Sponge موجودة الى يسار الاخرة ، وتظهر كذلك القواقع . (الصورة من المتحف الميداني
للتاريخ الطبيعي .)



الشكل (٢٢ — ١٨) : ارضية بحر عصر الميسيسيبي (الحلقة الرابعة) ، في وسط
الولايات المتحدة . يظهر في الصورة زنابق وبرعميات ونجميات . (الصورة من المتحف الميداني
للتاريخ الطبيعي .)



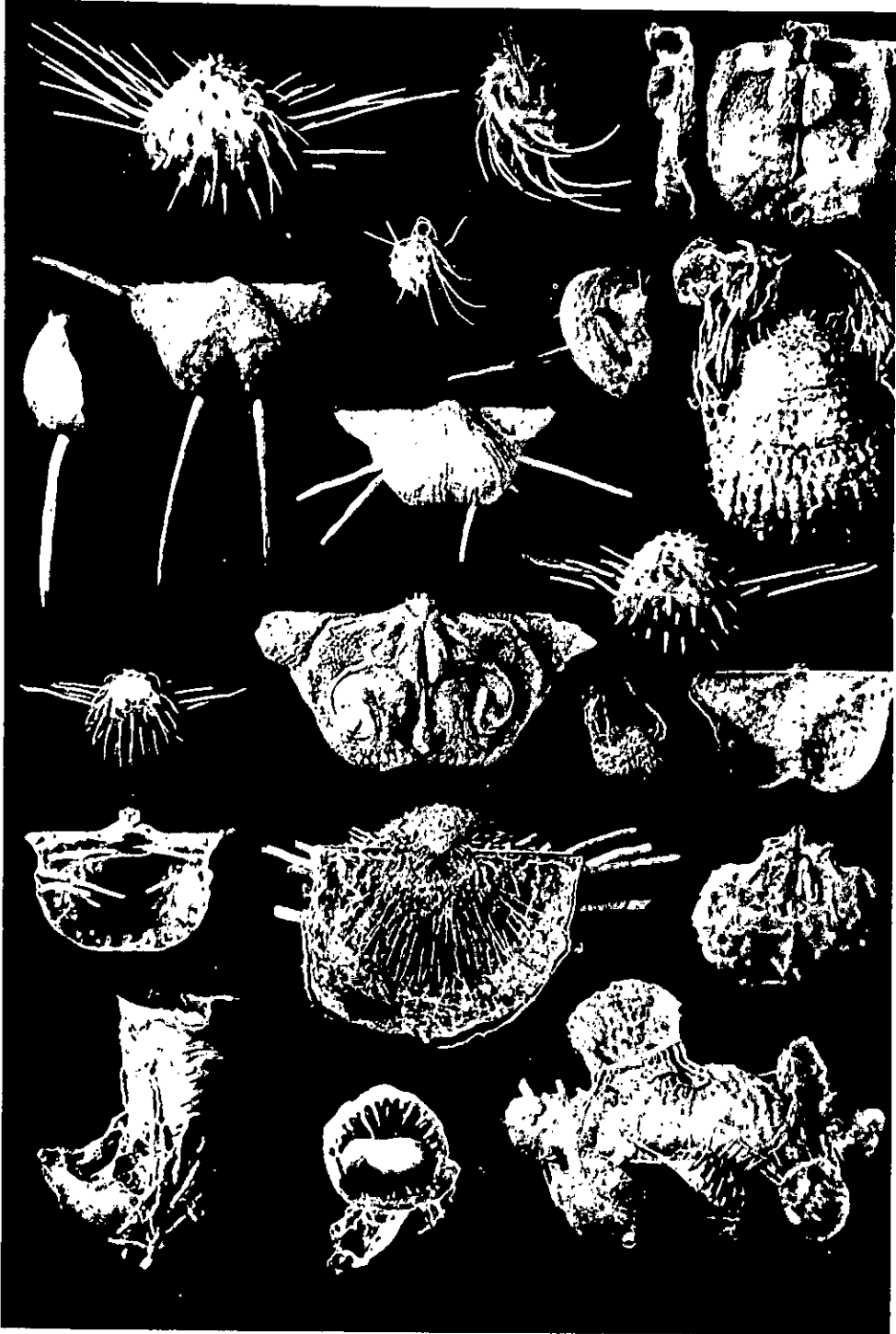
الشكل (٢٢ - ١٩) : من أوائل السمك التي عرفت بالاوزتراكوديرم أو بالسـمـك المديم الفكوك . ويعتبر الكلاكيس lamprey الاقرب لها شيها . الصورة لسمكة تسمى Hemicyclaspis ، من العصر الديفوني وطولها يساوي قدما واحدا تقريبا .



الشكل (٢٢ - ٢٠) : فك سمكة مدرعة من العصر الديفوني وتسمى Dunkleosteus intermedius وجدت في شمال اوهايو ، وطولها يقارب اربعة اقدام . لقد بلغ طول الافراد التي دلت في العصر الميسيسيبي حوالي ثلاثين قدما ، ولها فكوك ارتفاعها ستة اقدام . (الصورة من المهد السميثوني) .

تلك بداية متواضعة لمجموعة الحيوانات التي ستحكم الارض في العصر الديفوني (الشكل (٢٢ - ٢٠) . ومن الواضح أن هذه الاسماك قد تغذت على بعض من اللافتاريات . وفي اثناء ذلك الوقت تطورت الاشواك في الترايلوبايت (الشكل (٢٢ - ١٧) ، وكذلك في المسرجيات ذات الاصداف السمكية ، ربما للحفاظ عليها (الشكل (٢٢ - ٢١) . وظهرت أولى المسرجيات الشوكية في الاوردوفيشي، ثم ساد صنف المسرجيات ابتداء من الديفوني (الاشكال ٢٢-٢١ و ٢٢-٢٧ و ٢٢-٢٨) .

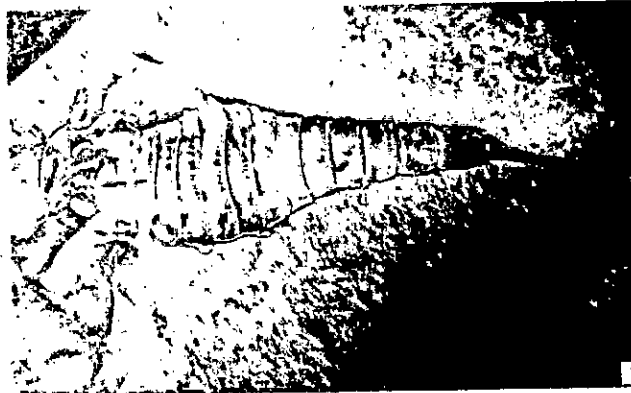
وقد تطورت حياة النبات مبكرة ايضا . فقد وجدت أول مستحاثات نباتية في صخور الكمبري الاوسط في سيبيريا . الا أنه وجدت قلة من بقايا النباتات في صخور ما قبل السيليوري الاخير ، الا أن انتشار المستنقعات



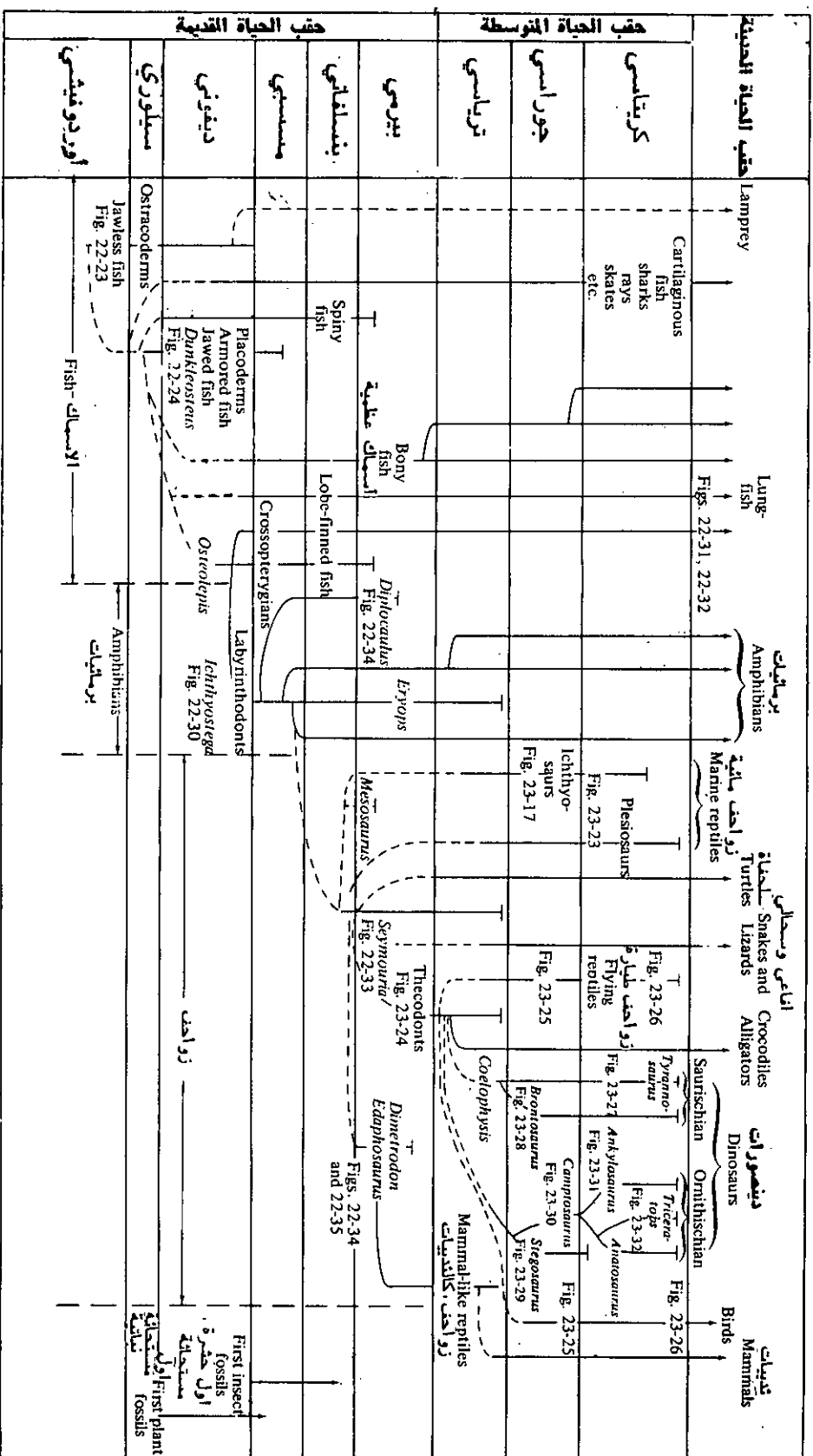
الشكل (٢٢ - ٢١) : مسرجيات شوكية وجدت في الحجر الجيري البيرمي ، في جبال
الزجاجي بولاية تكساس . استبدلت هذه المستحاثات بالمسبلكات . وقد اكتشفت ومعها
الاشواك ومظاهر اخرى دقيقة وذلك باذابة الحجر الجيري بحامض الكلوريدريك . (الصورة
من المعهد السميثسوني) .



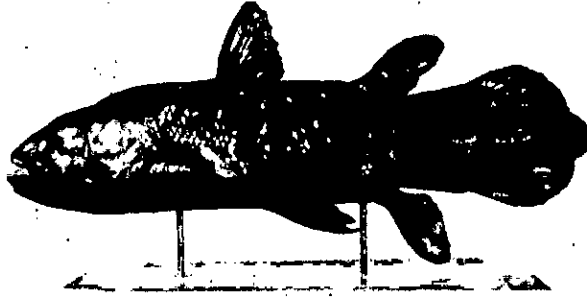
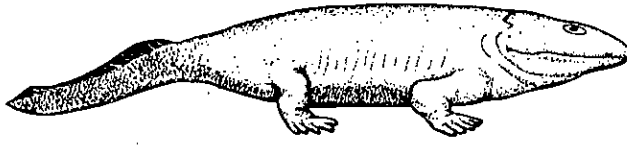
الشكل (٢٢ - ٢٢) : بين غابة من العصر الديفوني في غرب نيويورك . فقد كانت النباتات في أوائل العصر الديفوني عموما صغيرة واولية وتسكن المستنقعات .
(١) - يسمى *Psilophyton* ، وكان واحدا من النباتات الكبيرة التي انتقلت الى العصر الديفوني الاوسط فنحن اوائل الغابات الحقيقية .
(ب) - من أوائل الشجر وبلغ ارتفاعه (هـ) قدما . (جـ) تجمعات من نبات الإسوخ *Horsetail* (د) صورة قبيات ال *lepidodendron* .
رسم الصورة : C. R. Knight ، وهي من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي .



الشكل (٢٢ - ٢٣) : يري صورة عقرب الماء المذب والمقرب العادي ، من العصر السيلابوري ، وكلاهما وجد في نفس الوحدة الرسوبية في مواقع متعددة — من نيويورك .
(١) وتسمى *Eurypterus remipes* . (ب) - ويسمى *Carcinosoma* *scorpionis* ، ويظهران أيضا في الشكل (٢٢ - ١٦) . (الصورة من الموهـد السيشونتي) .



الشكل (٢٢ - ٢٤) : نشأة المقاربات . بالرغم من أن هذه اللوحة تبدو هائلة إلا إنه يمكن تتبع المراحل التطورية في أسفها ، فترى كيفية تطور الاسماك في أسفل اليسار العلويين في أعلى اليمين . ويظهر في اللوحة أهم المقاربات فقط ، والتي قد أشير إلى أشكالها ضمن هذا الجزء من الكتاب .



الشكل (٢٢ - ٢٥) : تطور البرمائيات .

(١) - تسمى *Ichthyostega* وهي اقدم البرمائيات ومن العصر الديفوني الاعلى ووجدت في جرينلاند ، وطولها قدمان . (ب) - تسمى *Latimeria* ووجدت كمستحاثة بالقرب من مدغشقر . فقد تطورت اسماك الزعانف والشبيهة بها الى برمائيات اولية ، وبطول قدره خمسة اقدام . (ج) - السمك الاسترالي الرئوي . فالمقدرة على نفث الهواء كالسمك الرئوي كانت مرحلة اخرى في تطور البرمائيات من الاسماك وبلغ طولها حوالي اربعين انشا . (الصور من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .



الشكل (٢٢ - ٢٦) : السيموريا ، وهي قريبة الشبه من البرمائيات . يمكن ان تنسب الى البرمائيات لان بيضها لم يوجد في نفس الصخر الذي وجدت به . ويعتقد ان الزواحف والفقاريات المتقدمة قد نشأت منها اذ يبلغ طولها (٢٥) قدما تقريبا . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

الواسع في زمن السيلوري الاخير اوجد بيئات مناسبة لنمو النبات . وكثرت النباتات في الديفوني ، حيث أن رواسب الفحم العظيمة في العصر البليوزويكي الاخير بين تطورها وكثرتها (الشكل (٢٢ - ٢٢)) . وابتداء من الديفوني الاخير ، فإن الفحم يظهر في كل مرحلة جيولوجية . وقد وجدت اقدم طبقات نحمية في صخور البريكامبري في ولاية ميشيجان ، وبالرغم من أنه يشير الى كثرة في الكربون ، وأنه قد يعود الى اصل عضوي ، الا انه قد لا يعزى الى نباتات ارضية .

ولقد ادى تطور النباتات الى تهيئة الطريق لمرحلة تطور الحيوانات الارضية وربما كانت العقارب (٤٩) التي وجدت في صخور السيلوري اول الاحياء التي تنفست الهواء (الشكل (٢٢ - ٢٣)) . وكما هو متوقع ، كانت البرمائيات (٥٠) اول الفقاريات التي عاشت على اليابسة . فقد تطورت من الاسماك (الشكل (٢٢ - ٢٤)) ، وأن مقدرتها على تنفس الهواء لا بد وأنها كانت ذات فائدة عظيمة . وحاليا ، اذا ما جفت البركة التي تعيش فيها ، فانها تزحف الى بركة اخرى . وربما حصل هذا في العصر الديفوني ، اذ تظهر أولى مستحاثات البرمائيات في اواخره (الشكل (٢٢ - ٢٥)) . وربما كانت احدى مراحل تطور البرمائيات من الاسماك شبيهة تماما بالاسماك الرئوية (٥١) الموجودة حاليا في افريقيا ، وهذه لها المقدرة على العيش في الفصل الجاف مدفونة في الطين تنفس الهواء ، وكأنها في حالة استئذان شتوي .

لقد كان ظهور الزواحف (٥٢) اخر مرحلة في تطور الكائنات التي عاشت على الارض . فتطورت البرمائيات سريعا حالما تطورت الزعانف الى أرجل واصبحت قادرة على التحرك بحرية . وعلى كل ، فلم تكن مفصولة تماما عن البحر لانه كان عليها ان تعود لوضع بيضها فيه . ثم طورت الزواحف بيضتها فكانت البيضة المتطورة التي توضع على اليابسة ليسهل فقسها . وربما حصل هذا التطور في العصر الميسيسيبي (٥٣) (الكربوني الاسفل) . ومن الصعب التفريق بين البرمائيات والزواحف حتى أساس هياكلها لانها متماثلة . وقد وجدت أولى البويض في بداية البيرمي مع السيپوريا (٥٤) في تكساس (الشكل (٢٢ - ٢٦)) ، وقد

اعتبرت بناء على ذلك من الزواحف . فقد بدأت السيموريا حياتها في المسيسيبي .
وظهرت أولى مستحاثات الحشرات في اواخر الديفوني ، واصبحت كبيرة
وشاعت نسبيا في اثناء البنسلفاني (٥٥) (الكربوني الاعلى) (الشكل ٢٢ —
٣٨) . وعند نهاية الحقبة البليوزويكية كانت معظم انواع الكائنات الحية قد
بدأت ، الا ان الثدييات وانواع النباتات السائدة حاليا لم تكن قد ظهرت بعد
الشكلين (٢٢ — ٢٧) و (٢٢ — ٢٨) . وقد حصل تغير هام في حياة الكائنات
الحية بانتهاء الحقبة البليوزويكية . فقد اضمحل كثير من انواع اللاقاريات
القديمة ، وظهرت سلالات جديدة ومختلفة الشكل (٢٢ — ١١) . أما لماذا
حصل ذلك ، فلسنا نعرف عن يقين . ومهما يكن من أمر ، فان الحيوانات والنباتات
التي ظهرت في اواخر تلك الحقبة على اليابسة لم تتأثر كثيرا . ومن المحتمل أن
انكماش البحار الذي حصل في ذلك الوقت قد قلص اطراف البيئة البحرية مما
ادى الى فناء العديد من الانواع المتخصصة . وقد صاحب المراحل الطارئة الاخرى
تأثيرات مماثلة . ولكن ليس الى الحد العظيم الذي صاحب اواخر البيرمي .
وترى اللاقاريات البحرية التي عاشت في الحقبة الوسطى (الميزوزيك) (٥٦)
اختلافات عديدة عن تلك التي كنت في الحقبة القديمة ، ورغم حدوث عدة
انقراضات عند ملتقى البيرمي والترياسي ، فان كثيرا منها حدث ايضا في اثناء
البيرمي . فقد ابيدت تماما الترايلوبيات ، والكيسيات والبرعميات (الشكل
٢٢ — ١١) . وفي الترياسي الاسفل لم توجد المرجانيات (٥٧) ولا المنخريات (٥٨)
لكنها ظهرت مرة ثانية في الترياسي الاوسط كأصناف مختلفة كثيرا عن تلك
التي ظهرت في البيرمي (الشكل ٢٢ — ٢٩) . وكانت منخربة الفيوزيلينيد (٥٩)
شائعة في البيرمي ، ومستحاثاتها الان من المستحاثات الدالة (الشكل ٢٢ —
٣٠) . وكذلك ، فان اصنافا عديدة من الاوليات ، والمرجيات ، والزنابق
تختفي عند هذا الحد . وعلى كل ، فقد اتسعت البحار في العصر الجوارسي (٦٠)
وحصل تطور سريع ، ادى الى ظهور عدة انواع جديدة . ويبدو أن اتساع
البحار كون آفاقا ايكولوجية جديدة ، ونشأت كائنات حية لتعيش فيها (الشكل
٢٢ — ٣١) ، على عكس ذلك الفناء العظيم الذي صاحب حقبة الحياة الوسطى .

55. Pennsylvanian
56. Mesozoic
57. Corals

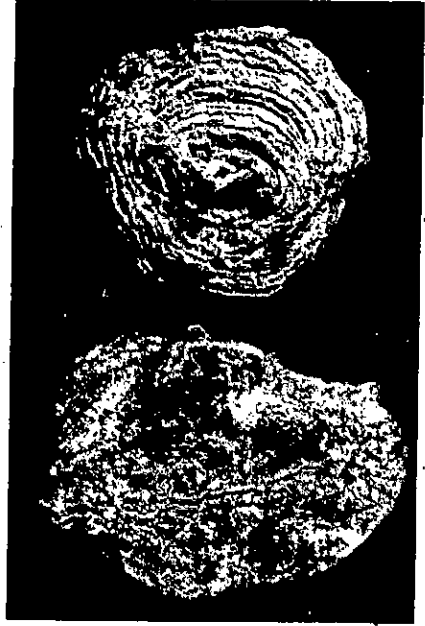
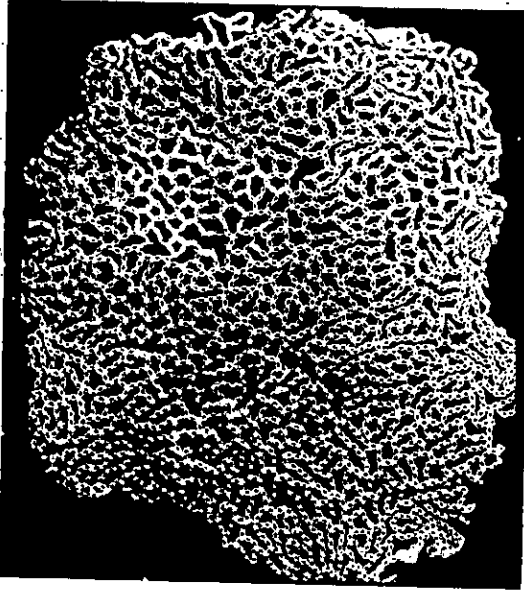
58. Foraminifera
59. Fusulinid
60. Jurassic



الشكل (٢٢ - ٢٧) : ارضية بحر العصر البسلفني (الحلقة الخامسة) تبتدئ من شمال الى وسط تكساس .
 (١) - اسفنجيات على هيئة مستعمرات منفردة . (ب) - زنبقة . (ج) - مرجان منفرد . (د) - قوقع . ويمكن رؤية انواع اخرى من المستحاثات . (هـ) - مسرجيات ومحار . (و) - راسقدمية . يمكن مشاهدة انواع اخرى . (الصورة من المهدالسميثوني)

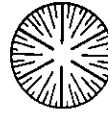


الشكل (٢٢ - ٢٨) : ارضية بحر العصر البسلفني في جبال الويل الزجاجي في تكساس .
 (١) - عدة انواع من الاسفنجيات . (ب) - نوعان من الراضقميات . (ج) - مسرجيات شوكية . بالإضافة الى ما ذكر . يمكن مشاهدة عدة انواع من المسرجيات والمحار والمرجان . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .



مقطع تخطيطي يري السبنا

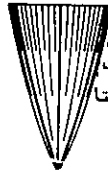
مقطع تخطيطي يري السبنا



بنظر تخطيطي
يري ترتيبات
هزوز السبنا



عينة عامة
من الصمب
تبييز التناظر
يقون مقطع



بنظر تخطيطي
يري ترتيبات
السبنا



عينة عامة

مرجان رباعي منفرد — باليوزويك

مرجان سداسي منفرد — ميزوزويك

الشكل (٢٢ - ٢٩) : المرجان .

(١) — تسمى *Halysites* وهي من نوع المرجان السلسلي ومن العصر السيلوري ، وجدت في منطقة لويزفيل في ولاية كنتوكي . (ب) — تسمى *Favosites* ، وهي من نوع المرجان السداسي ومن العصر الريفولي ، وجدت في منطقة اركوناي ولاية اونقاريو . ان (١) ، (ب) من نوع المستعمرات المرجانية المسطحة . (ج) — مرجان منفرد او فنجاني ومن حقبة الحياة القديمة ، ويظهر فيه التناسق الرباعي الطية . (د) — مرجان منفرد اما من حقبة الحياة الوسطى او الحديثة ، ويظهر فيه التناسق السداسي الطية . (الصمب) من المعهد السميشوني .

ونجد سجل الانتقال من البيرمي الى الترياسي في الصخور الرسوبية البحرية في جزيرة تيمور فقط . فاذن فان هذا كان زمن انحسار عام للبحار في جميع

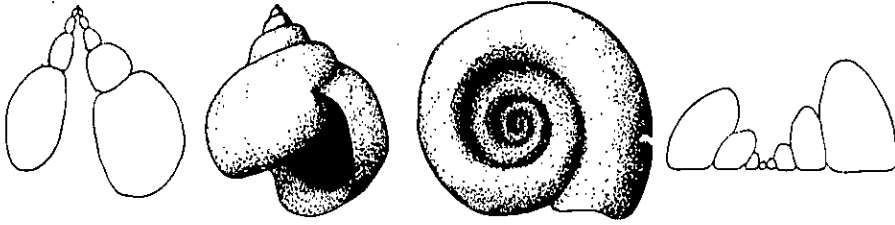


الشكل (٢٢ - ٣٠) : منخريّة الفيوزيلينيد Fusulinid ، وتشتمل على نوع يسمى *Parafusulina* ، وجدت في العصر البيرمي في منطقة مراثون بولاية تكساس وطولها ($\frac{7}{8}$) انشاً . والفوزيلينيد عبارة عن منخريّة كبيرة تشتمل كمستحاثات مرشدة أو دالة لعصرى البينسفاني والبيرمي وقد انقرضت عند نهاية العصر البيرمي . (الصورة من المعهد السميثسوني) .

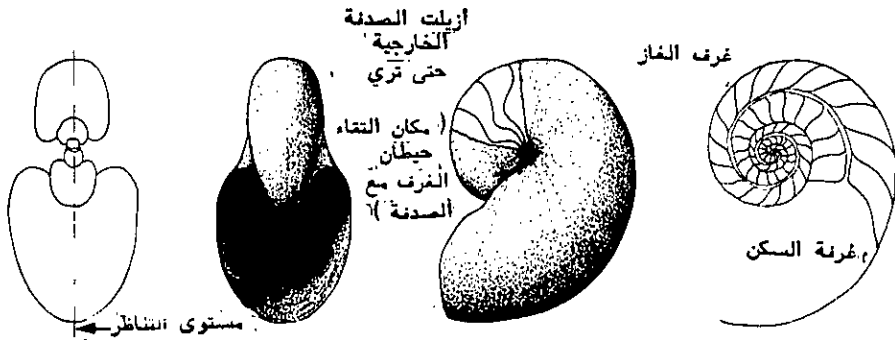


الشكل (٢٢ - ٣١) : أرضية بحر عصر الجوراسي (الحلقة السادسة) ويظهر فيه أحياء لاغقارية من الرأس قديمات المستقيمة والتي تشبه الحبار ومحاربات بالإضافة إلى وجود الاكتيوصورم ، وهو من الزواحف . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

العالم . وفي بداية الفصل السابق قدمنا رأياً مفاده أن مثل هذه الأحداث قد تحدد حلقات طبيعية من تاريخ الأرض . وهذا يقضي بأن انتهاء البيرمي ينهي إحدى هذه الحلقات . ومنذ وقت مبكر لوحظ التغير الهائل في الكائنات الحية في هذا العصر وقد استُخدم هذا للتفريق بين الحقبة القديمة والوسطى . ولكن لقد استمر الترسيب عبر هذا الحد ، في جنوب غرب الولايات المتحدة ، بحيث أن الحلقة الخامسة تضم هذا الحد . أما في غرب الولايات المتحدة ، فقد كانت البصائر



١ - اصداف ومقاطع تخطيطية خلال لثات في موقعين عامتين

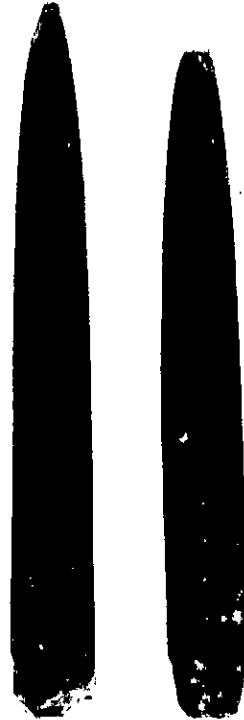
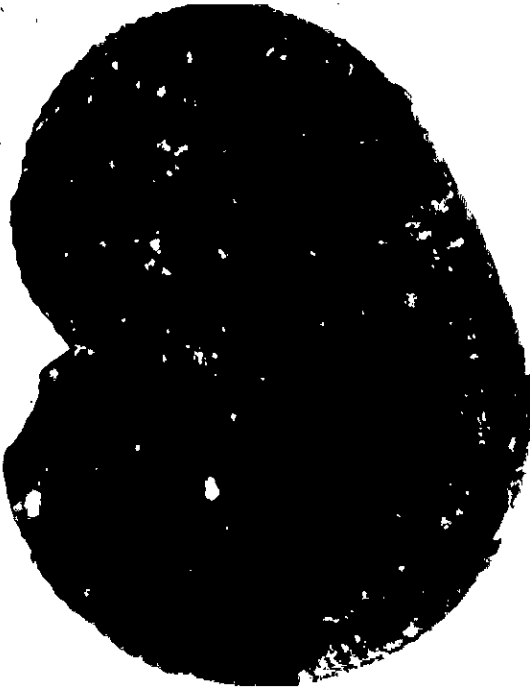


ب - صدفه ومقطع تخطيطي في الراسقدميات عموما .

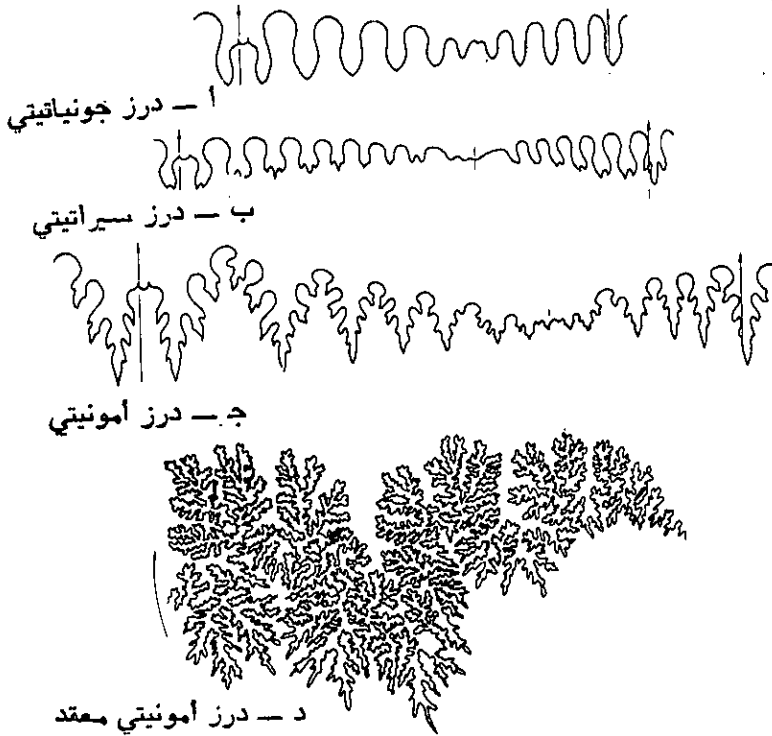
الشكل (٢٢ - ٢٢) : يبين الفروق بين القواقع و الراسقدميات
(١) - قوقعة ايس لها غرف او تناسق . (ب) - راس قديمة لها غرف وبعض النظام
المعقد (الشكل ٢٢ - ٢٤) وملفوفة في مستوى متناسق الا أن هناك بعضا من
الراسقدميات غير الملفوفة . فالفرق المبينة تتعلق بالشكل الخارجي الا ان هناك
فرقا أخرى أساسية .

محصورة جدا في هذه الفترة وترسبت صخور عديدة غير بحرية .
وقد نشأت الرأس قدميات بسرعة في الحقبة الوسطى ، ونظرا لانها
مستحاثات دالة مثالية ، فقد مكنت من تأريخ دقيق جدا الاشكال ٢٢ - ٣٢ و
٢٢-٣٣ و ٢٢-٣٤ . وكانت هذه الحيوانات شبيهة برباعية الخياشيم (٦١)
المعروفة حاليا . وهي حيوانات سابحة ذات اصداف ملفوفة . وقد تطورت
بسرعة ، وكانت الاختلافات بين الانواع في زخرفة الصدفة واشكال تقسيماتها،
ونظرا لكونها حيوانات سابحة ، فان مستحاثاتها توجد في جميع البيئات . ويظهر
انها كانت تطفو ايضا بعد موتها .

اما لماذا طورت هذه الاحياء تقسيمات في غاية التعقيد فليس معروفا ، غير
انها تقوي الصدفة كما تقوي الثنيات الواح الكرتون . وقد اضمحلت هذه

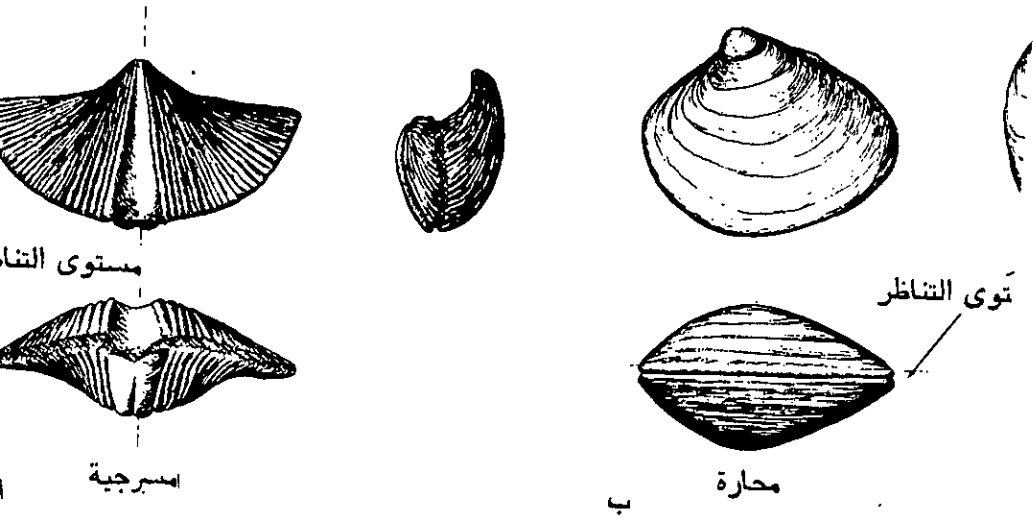


الشكل (٢٢ - ٢٣) : يبين انواع الـ *الراستدييات* .
 (ا) - تسمى *Metengonoceras* . من العصر الكريتاسي ولها دروز من نوع
 سيراتيت ، (ب) - يسمى *compressus baculites* وهي عبارة عن جزء من صدفية
 امونيت مستقيمة طولها ثلاثة اقدام وتتميز بالدرز الامونيتي . (ج) - تسمى سكافيت
Scaphites ، وهي امونيت كريتاسية ، طولها (١٠) انش . (د) - تسمى
Helemnitella americana وهي ايمونويد كريتاسية وجدت في نيو جيرسي وطولها ثلاثة اقدام .
 (الصور من مؤسسة وورد للمعلوم الطبيعية في روتشستر بولاية نيويورك)



- الشكل (٢٢ - ٢٤) : يري انواع دروز الراسقدييات . الاسهم تتجه نحو المخرج .
(نقلت الصور عن كتاب *Treatise on Invertebrate Paleontology* علم الباليونتولوجيا اللافقارية ،
بموافقة دائرة المسح الجيولوجي الامريكية ومطبعة جامعة كنتساس) .

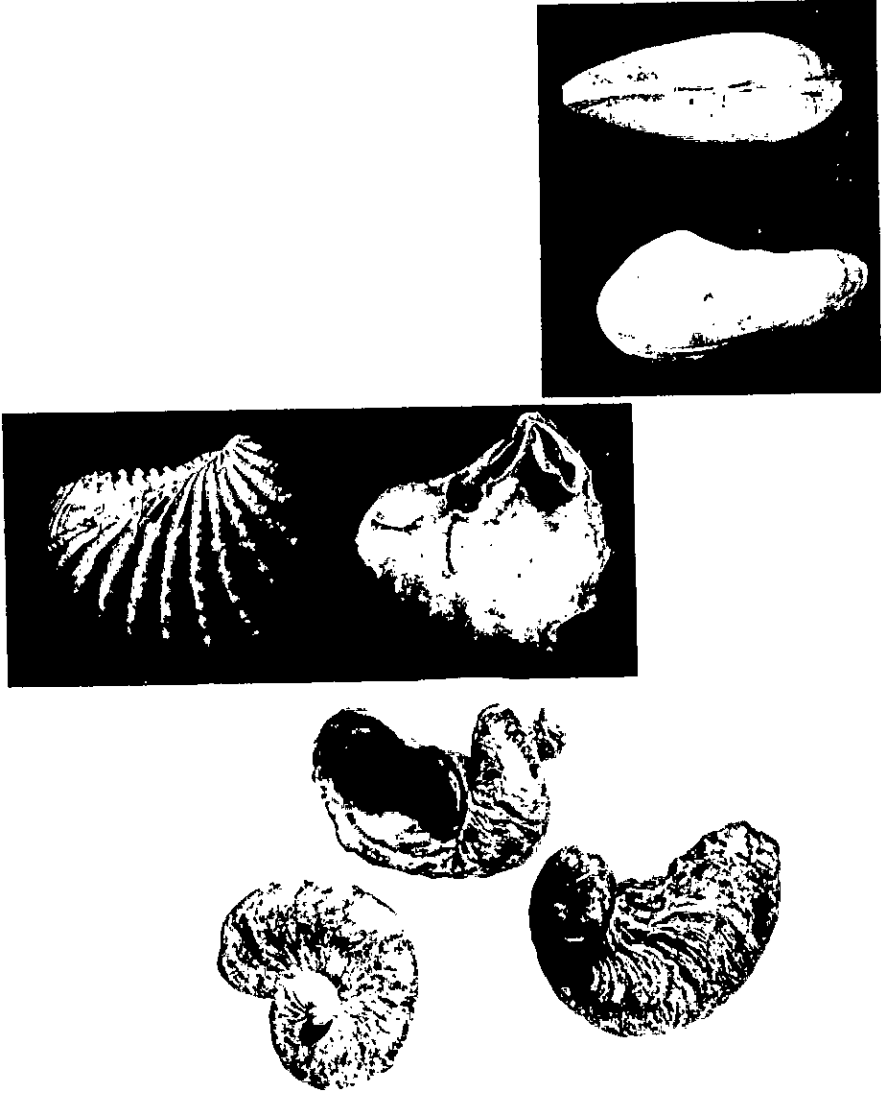
المجموعة نهائيا عند الكريتاسي ، ما عدا رباعية الخياشيم التي لها تقسيمات بسيطة ومصقولة . وقد يعني هذا أن الاصناف المتخصصة لا تستطيع أن تتكيف تحت ظروف جديدة ، مثل جفاف بحار الكريتاسي ، في حين تتكيف الاشكال البسيطة . وربما يفسر هذا سبب استمرار بعض المسرجيات والاسفنجيات البدائية باعداد صغيرة نسبيا من الكمبري وحتى الوقت الحاضر . والتغير الاخر في محيطات الحقبة الوسطى هو ظهور المحاريات . فقد سادت مسرجيات المصراعين (٦٢) في الحقبة القديمة ، الا انها اصبحت اقل اهمية في الحقبة الوسطى والحديثة (الشكلان ٢٢ - ٣٥) و (٢٢ - ٣٦) . ومع بداية الجوراسي ،



الشكل (٢٢ - ٢٥) : يبين الفروق بين المحار والمسرّجة كما يلي : المسرّجة —

مصرّعان غير متشابهين في حين أن المحار له مصرّعان متشابهان ، بحيث أن الواحد منهما صورة الآخر لأن خط التماثل يمر بينهما في حين أن هذا الخط يقسم مصرّعي المسرّجة ، علما بأن بعض المحار يفترق إلى مثل هذه الخامة (انظر الشكل ٢٢ - ٢٦) .

شاعت المحاريات وعلى الاخص الاويستر (٦٣) . ولم تكن الاويستر المحاريات الوحيدة التي فقدت تناظرها ، وقد ظهرت المحاريات المشابهة للقرون المرجانية . ويرى الشكل (٢٢ - ٣٧) أصناف الحياة في الكريتاسي الأخير . ونباتات الحقبة الوسطى كانت مختلفة أيضا عن نباتات الحقبة القديمة ، بالرغم من أن التغير لم يظهر حتى أواخر الترياسي . فقد اختفت المستنقعات الخصبة التي أنتجت طبقات فحم البنسلفاني (الشكلان ٢٢ - ٣٨) و (٢٢ - ٣٩) في البيرمي . وكان هذا نتيجة تغير المناخ من أحوال جافة إلى شبه جافة وهذا تؤيده رواسب الطبقات الحمراء والتبخريات ، والأحجار الرملية المترسبة بالرياح . لقد أدت الأحوال الصحراوية التي سادت في زمن الترياسي إلى حفظ القليل جدا من النباتات الزهرية (٦٤) التابعة لأوائل الحقبة الوسطى . فالمستحاثات النباتية القليلة ، كنبات الاسوخ (٦٥) ، التي وجدت في أوائل صخور الحقبة الوسطى قد استمرت من الحقبة القديمة . وفي أواخر الترياسي،



الشكل (٢٢ - ٣٦) : يبين أنواع المحار كما يلي :
 (أ) - تسمى Nuculana ، من العصر البنسلفاني من تكساس وطولها (٧٥) انش .
 (ب) - تسمى Trigonina thoracica من العصر الكريتاسي وسميكة المصراع .
 (ج) - تسمى Exogyra arietina ومن العصر الكريتاسي وطولها (١) انش وسميكة الصدفة وينعم فيها التماثل .
 (الصور (١) ، (ب) من المعهد السميثوني ، (ج) من مؤسسة وورد للعالمية الطبيعية من روتشستر بولاية نيويورك .

ظهرت النباتات الزهرية في هيئة اشجار الجنكو (٦٦) والمخروطيات (٦٧) .



الشكل (٢٢ - ٣٧) : أرضية بحر الكريتاسي الأيسري
(الحلقة السادسة) بالقرب من كون كريك ، في ولاية تينيسي . تظهر
الامونيت الملفوفة والمستقيمة الاصداف (Baculites) بالإضافة إلى عدد
من القواقع والمحار . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

والسرخسيات (٦٨) وعلى الاخص السيكداس (٦٩) وظهر ايضا قلة من نباتات
كاسيات البذور (٧٠) في صخور الترياسي . فنباتات كاسيات البذور التي تعتبر
عناصر هامة في الازهار الحالية ، قد اصبحت شائعة ، وانتشرت في جميع
القارات في الكريتاسي الاوسط (الشكل ٢٢ - ٤٠) .

وقد حدثت انقراضات عديدة في الحيوان والنبات بالقرب من نهاية الترياسي
وعلى وجه التقريب عند نهاية الحلقة الخامسة . فقد انقرض ما يزيد على عشرين
عائلة امونايت ما عدا عائلة واحدة ، استمرت ليخرج منها العديد من الامونايت

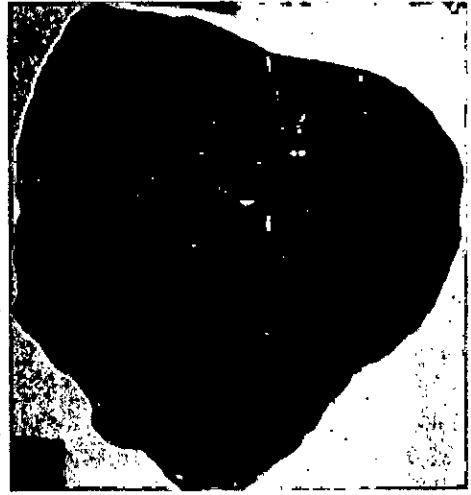
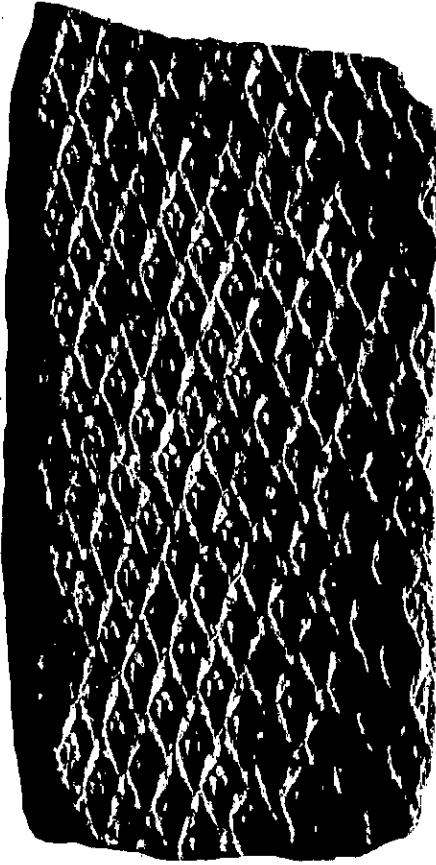


الشكل (٢٢ - ٢٨) : بين اعادة بناء مستنقع للفحم من العصر البينسلفاني كما يلي
(ا) نبات لببيدودوندرن . (ب) نبات السيجيلاريا Sigillaria ، ومعها المرصور
الكبير الحجم . (ج) يسمى الكلاميت Calamites . (د) يعسوب كبير .
(الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

المختلفة في الجوراسي . وانتشرت الداينصورات ايضا في الترياسي . وقد
ظهرت في اواخر الترياسي لأول مرة ثم ما لبثت ان اصبحت المجموعة السائدة
على اليابسة .

يرجع اصل الداينصورات ، كما هو الحال في جميع الزواحف ، الى السيموريا
(الشكل (٢٢ - ٢٤)) . وتعتبر زواحف البيرمي المبينة في الشكلين (٢٢-٤١)
و (٢٢-٤٢) الخط الاخر الذي انطلق من السيموريا . وتطورت من زواحف
البيرمي هذه ، ثدييات مشابهة لها ، ما لبثت ان تطورت الى ثدييات حقيقية
بالقرب من نهاية الترياسي .

ان الداينصورات ، او السحالي المخيفة ، كانت على هيئة نوعين مختلفين
من الزواحف تطورا من الشيكودونت (٧١) (الشكل (٢٢-٤٣)) . وكانت مجموعة



ب



ج

الشكل (٢٢ — ٢٦) : عبارة عن مستحاثات نباتية من العصر البشماناني .
 (١) — نبات الليبيدودندرن . و (ب) — نبات السيجيلالريا وهي أجزاء من ساق عليها
 علامات من أوراق الشجر . (الصورتان من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) . (ج) —
Asterotheca miltoni وهي ورقة نبات سرخس . (الصورة من مؤسسة وورد للمطبوع
 الطبيعية في روتشستر بولاية نيويورك .



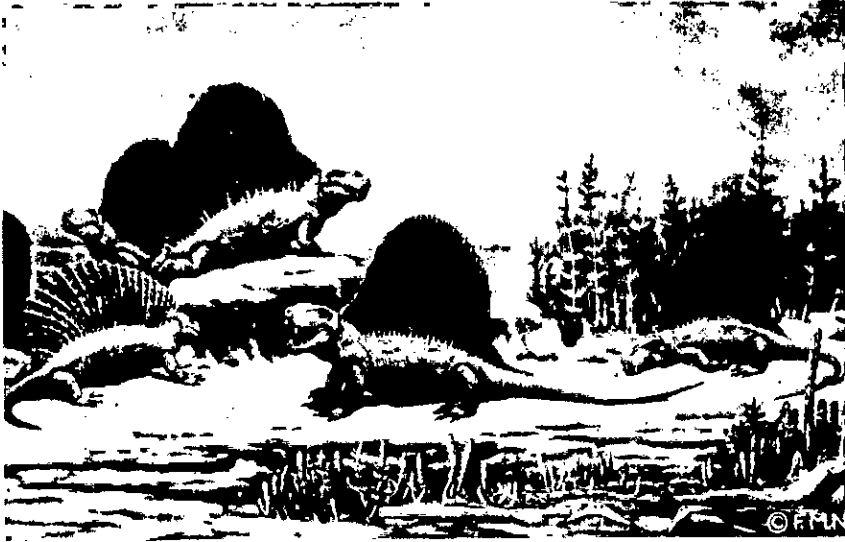
الشكل (٢٢ - ٤٠) : يبين مستحاثات متطورة لأوراق نباتات من العصر الكريتاسي :
 (١) - تسمى *Alnus larseni* من منطقة كريد في ولاية كولورادو . (ب) -
 تسمى *Metasequoia* من نهر كولواش Collawash في ولاية أوريغون .
 (ج) - تسمى *Mahonia marginata* من كريد ، في ولاية كولورادو . وجميعها من عصر
 الميوسين . (الصورة من المعهد السميثسوني) .

ناجحة جدا ، وتفرعت منها انواع عديدة مختلفة . وقد تركز اهتمامنا على
 الاصناف الكبيرة الحجم منها ، الا ان كثيرا من اوائلها كان صغير الحجم . ان
 تعدد اصنافها ، وتطورها السريع ، بالاضافة الى بعض مظاهرها الاخرى تدل
 على انها كانت متخصصة . وقد اضمحلت جميعها بنهاية الكريتاسي .

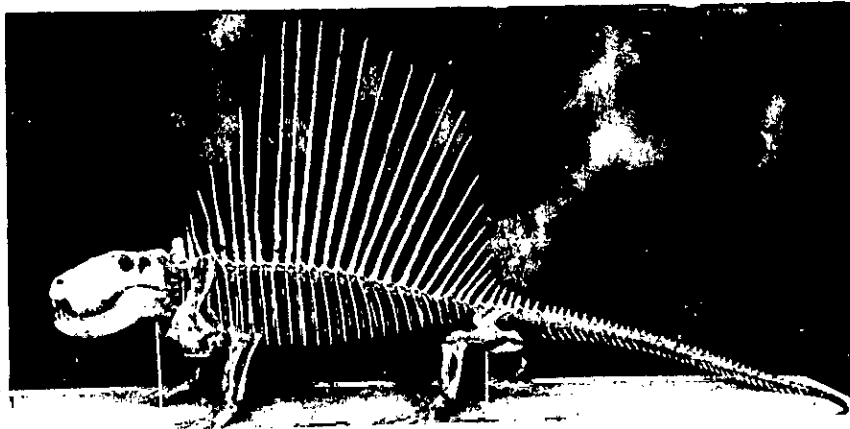
يكن التفريق بين صنفى الداينصورات في عظامها الحرقفية ، فأحد الاصناف
 له أوراك الزواحف (٧٢) النموذجية ، والاخرى لها أوراك شبيهة بأوراك الطيور
 (٧٣) . وقد وجدت الاولى على صنفين ، آكلة اللحوم وآكلة الحشائش . وكانت
 آكلة اللحوم لها ساقان رئيسيان في الخلف وساقان قصيران في الامام فقط ،
 والتيرانوصورس (٧٤) اعظم آكل للحوم في جميع الاوقات (ارتفاعه ٢٠ قدما ،
 وطوله ٥٠ قدما ، ووزنه من ٨ - ١٠ طن) ينتمي الى هذه المجموعة (الشكل
 (٢٢ - ٤٤)) . اما آكلة النباتات فذات اربعة سيقان ، وان البرونتوصورس
 (٧٥) الذي هو اكبر الحيوانات جميعها يتبع هذه المجموعة (الشكل (٢٢ - ٤٥)) .

72. Saurischians
 73. Ornithischians

74. Tyrannosaurus
 75. Brontosaurus

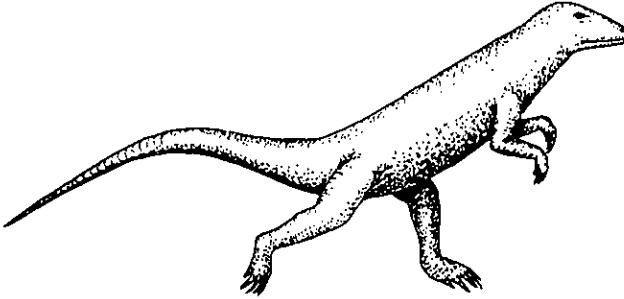


الشكل (٢٢ - ٤١) : سدالي بحرية بيرمية . لا احد يعرف فائدة الزعنفة الموجودة على ظهر هذه الزواحف . ويسمى الحيوان الذي تظهر أسنانه بالدايميترودون *Dimetrodon* ، وهو من آكلة اللحوم أي *carnivore* ، في حين يطلق على صغرى الرأس منها اسم ايدافوصورص *Edaphosaurus* . ويبلغ طول كل منهما بسعة ادمم . ويسمى الحيوان الذي في اسفل يمين الصورة بالدبواكاوولوس *Diplocaulus* ، وطوله قدمان ، وهو برمائي قاعي . (الصورة رسمها C. R. Knight ، من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .



الشكل (٢٢ - ٤٢) : صورة جهاز عظمى للسحلية المائية في الشكل (٢٢ - ٤١) . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

وكانت جميع الديناصورات التي لها أوراق شبيهة بأوراق الطيور آكلة للنباتات، وأن الديناصورات الدنيا ، أمثال البط المنقاري (٧٦) ، والديناصورات القرنية

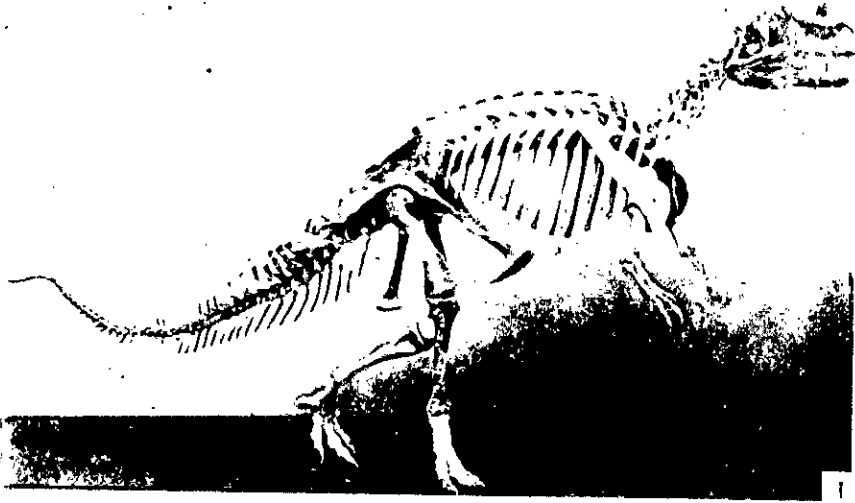


الشكل (٢٢ - ٤٣) : صورة لحيوان الثيكودونت Thecodonts ، والذي تطور من حيوان السيبوريا . نشأت الدينصورات والزواحف الطائرة والطيور ولاكردن من حيوان الثيكودونت . وبالرغم من تشابه الثيكودونت مع الدينصورات ، إلا أنها كانت أصغر حجماً بحيث لم تتجاوز أربعة أقدام وتقيت بالعصر الترياسي .

(٧٧) والمدرعة (٧٨) ، تتبع هذه المجموعة (الاشكال ٢٢-٤٦ حتى ٤٩) . وقد انتشرت أولى الصيور في الحقبة الوسطى أيضاً . وكانت أسلافها الزواحف الطائرة ذات الأسنان التي وجدت في الجوراسي والكريتاسي وقد ظهر أقدم طائر في الجوراسي وهرف كطائر أكثر من كونه زاحفاً ، ووجدت ثلاث عينات كاملة تقريباً مع ريشها في حجر جيري دقيق الحبيبات . وهذا هو طائر الأركيوبتريكس (٧٩) وكان بحجم الديك البري تقريباً ويحمل أسناناً في منقاره (الاشكال ٢٢-٥٠ و ٥١-٥٢) .

وهناك تطور هام آخر هو عودة بعض من الزواحف إلى البحر وقد حدث ذلك قبل حلول الحقبة الوسطى ، والزواحف البحرية هذه كانت أحسن تطوراً وأعظم عدداً في هذه الحقبة . ويبدو أنها طورت نظاماً بحيث تحمل الانثى بيضها قبل أن يفقس في جسمها ومثال ذلك إيكثيوصورص (٨٠) الترياسي ، حيث أن بعضاً منها وجد في أجسامها صغار لم تولد (الشكل (٢٢-٥٢)) . أما زواحف العصر الحاضر مثل السحالي والثعابين ، والتماسيح فكانت موجودة أيضاً في الحقبة الوسطى .

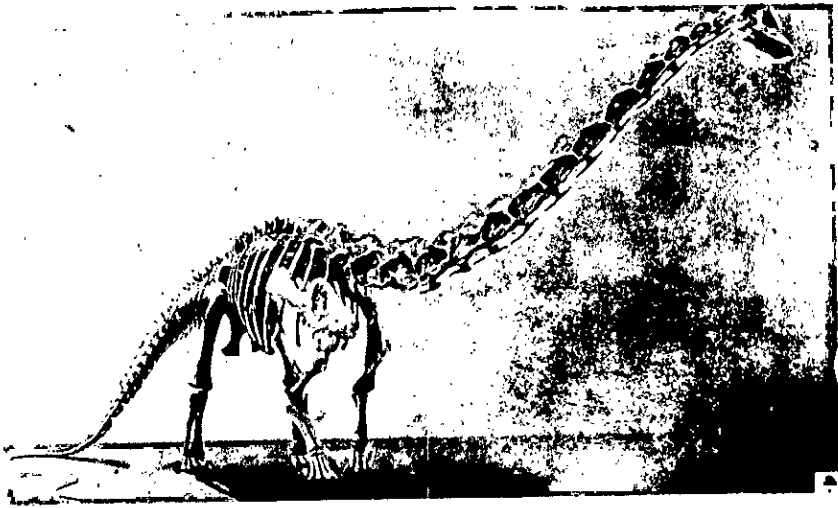
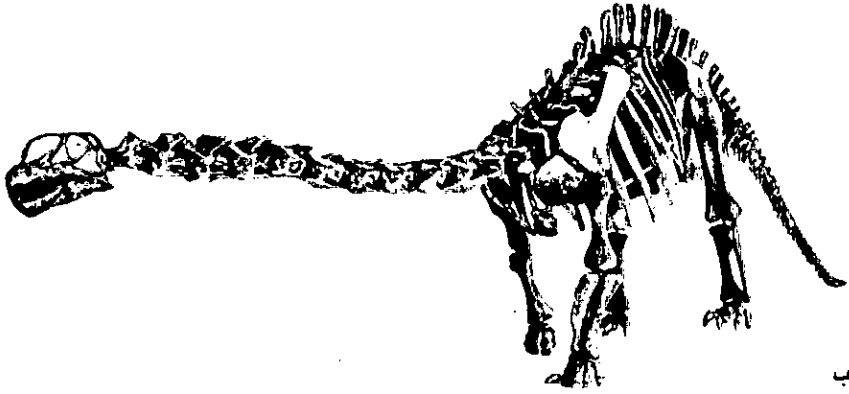
ووجدت أولى الثدييات في طبقات أواخر الترياسي فهي حتى أواخر الكريتاسي مستحاثات نادرة . وكانت جميعها صغيرة لا تنم عما سيكون لها من الأهمية في



الشكل (٢٢ — ٢٤) : صور داینصورات آكلة اللحوم ، تميزت بحركتها السريعة لتوجد
قديمين طويلتين بالخلف وآخرين صغيرتين في الامام .

(أ) — السيراتوصورس *Ceratosaurus* وجد في تكوين Morrison نسي
العصر الجوراسي الاعلى ، بالقرب من مدينة كانيون في كولورادو ، وطوله (٢٤) قدما . لاحظ
القرن الصغير في اعلى انفه . (الصورة من المعهد السميشوسي) . (ب) — التيرانوصورس
Tyrannosaurus ، وهو اكبر داینصورات آكلة اللحوم ، وطوله (٥٠) قدما وجد في العصر
الكريتاسي . (رسم الصورة C. R. Knight . المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

الحقبة الحديثة . وقد ظهرت زواحف كالثدييات في البيرمي واستمرت عبر الحقبة
الوسطى . وكانت لها أسنان وجماجيم مماثلة نوعا ما للثدييات .



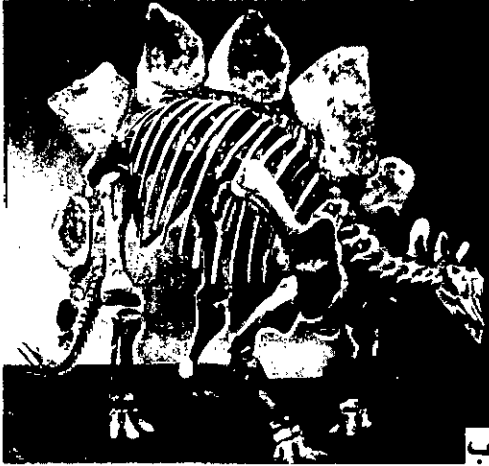
الشكل (٢٢ - ٢٥) : صور داینسورات آكلة النباتات . وتتميز بأن لها أربعة أقدام وقد عاشت في مستنقعات موحلة .

(١) البرونتوصورص *Brontosaurus* ، وجد في أواخر العصر الترياسي واستمر عبر الجوراسي ، وطوله (٧٠) قدما ويزن (٣٥) طنا وبالتالي فإن أكله اعتبر مشكلة ضخامة جسمه والمحافظة عليه . (رسم الصورة C. R. Knight . المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) . (ب) - هيكل عظمي للبرونتوصورص . (الصورة من المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) . (ج) - الديلودوكس *Diplodocus* وجد في صفور الجوراسي الأعلى والكريتاسي ، وطوله (٨٥) قدما ، وارتفاعه (١٣) قدما ، ويزن (١٣) طنا . (الصورة من المعهد السميثوني) .



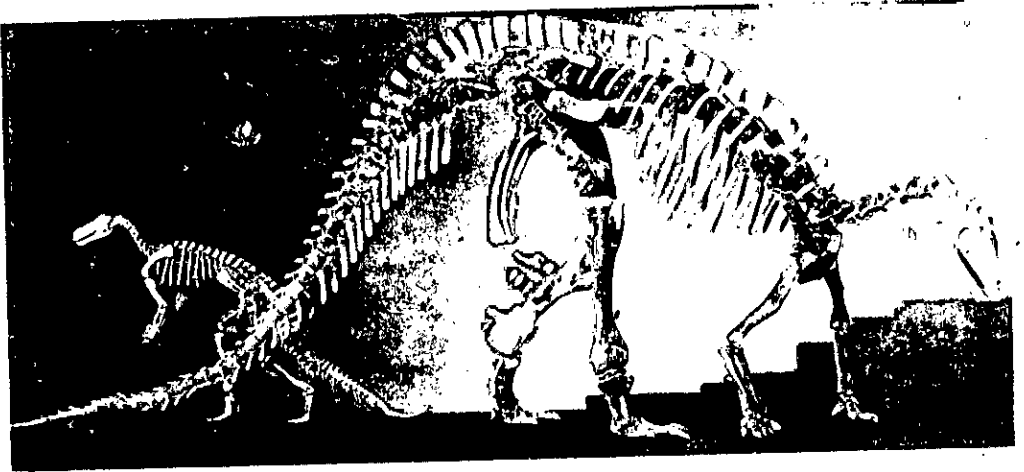
الشكل (٢٢-٤٦) : حيوان

الستيغوصورص *Stegosaurus* . عاشت هذه الدائنصورات المصفحة في عصور الجوراسي والكربناسي . بلغ طولها (٢٠) قدما ووزنها (٢) طن (الصورة (١) رسمها C. R. Knight المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي ، والصورة (ب) - عبارة عن هيكل عظمي من المعهد السميثسوني) .

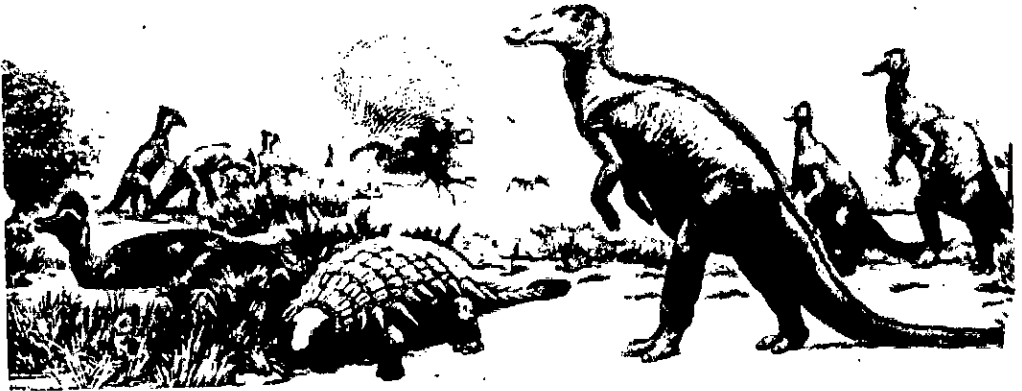


تعتبر الحقبة الحديثة بأنها عصر الثدييات حيث تطور فيها توزيع نباتات وحياء العصر الحالي . والحياة البحرية فيها تشبه حياة الحقبة الوسطى ، ولكنها ، طبعا اكثر حداثة ، مع سيادة المحاريات ، والايوستر والقواقع . وقد عانت المنخربات تطورا جديدا وأصبحت واسعة الانتشار جدا . ونظرا لان صغرها يكتفي للحصول عليها - حلة في كسارات الحفر ، فانها قد استعملت على نطاق واسع لتاريخ الصخور عند الحفر بحثا عن البترول .

وقد أدى النشاط الباني للجبال (٨١) الذي يشير الى بداية الحقبة الحديثة الى تكوين تضاريس (٨٢) متنوعة تسببت في ايجاد عدة تغيرات مناخية . وقد امتلأت النطاقات المناخية الجديدة هذه بسرعة بالنباتات وبذلك تهيأت الفرصة لانتشار

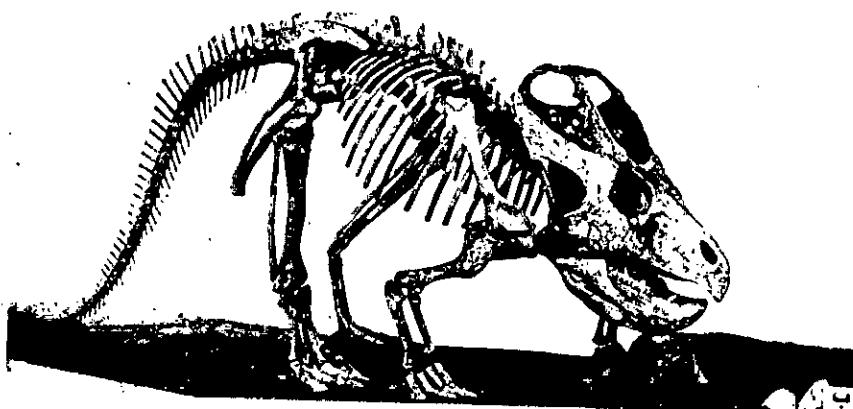


الشكل (٢٢ - ٢٧) : دايانصور المنقار البطي . ويسمى كامبتوصور *Camptosaurus* وجد في العصر الجوراسي ، في ولاية وايومنغ ، ويعتبر واحد الاركان الرئيسية للداينصور الاورنيثيشي ، والتي تسلسلت منهما الداينصورات ذات القرون . عاش الكامبتوصور في عصور الجوراسي والكريتاسي ، وبلغ طوله (١٥) قدما . (الصورة من المعهد السيشوني) .



الشكل (٢٢ - ٢٨) : دايانصورات عصر الكريتاسي . يوجد على اليمين التراكون *Trachodon* ذو المنقار البطي . ومنها الكورينورس *Corythosaurus* ذو المقدم التي تحتوي على أغشية ، والباراصورلوفس *Parasaurolophus* في أعلى اليسار . ويتواجد في مقدمة الصورة دايانصور المدرع المسمى بالانكيلوصور *Ankylosaurus* الذي تسلسل من الستيجوصورس . اما في الوسط فيوجد الداينصور الصوريثي *saurischian* . (رسم الصورة C. R. Knight ، المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

الحيوانات لتحتل هذه الافاق الايكولوجية . فالنباتات البذرية او النباتات المزهرة ، التي ظهرت في اوائل الكريتاسي واشتملت على الحبوب والاعشاب انتشرت بسرعة في الاجواء الجافة التي تكونت فيها النباتات الجديدة . وقد كانت الحياة



الشكل (٢٢ - ٤٩) : الداینصورات السیراتوبسیة Ceratopsian ذات القرون،

تسلسلت من الکامبوتوروس .

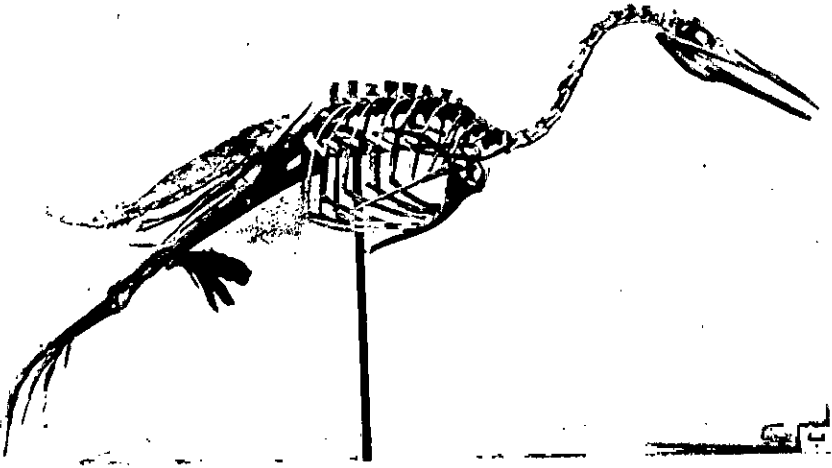
- (١) - صورة البروتوسیراتوبس Protoceratops ، وجد بیفی هذه الداینصورات فی منغولیا . (رسم الصورة C. R. Knight ، المتحف میدانی للتاریخ الطبیعی . (ب) - هیکل البروتوسیراتوبس Protoceratops طوله حوالي (٦) اقدام . (الصورة من المتحف میدانی للتاریخ الطبیعی) (ج) هیکل التراسیراتوبس Triceratops طوله (٢٤) قدما . (الصورة من المعهد السمیثونی) .



الشكل (٢٢ - ٥٠) : منظر من عصر الجوراسي يسري طير الاركيوبتيركس *Archaeopteryx* المغطى بالريش ، و طير الرامفورينشس *Rhamphorhynchus* من الزواحف الطائرة ، وطول جناحه حوالي (٣) اقدام، وكذلك دايصورات صغيرة وأشجار نخيل تشبه الاشجار الصنوبرية (رسم الصورة C. R. Knight ، المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

النباتية في الحقبة الحديثة حديثة فعلا ، وتألفت أساسا من النباتات البذرية والصنوبريات . وقد بلغت طبقات الفحم المعينة في هذه الحقبة ذروتها في التطور .

وبنهاية الحقبة الوسطى ، انقرضت الدايصورات ، التي كان معظمها متخصصا في شغل البيئات العديدة المختلفة . وكانت جميع الدايصورات حيوانات ضخمة تقريبا مما جعل تجمع الغذاء في أزمنة تغير المناخ واستمرار النبات عملية صعبة . وكانت الثدييات عند ذلك الوقت صغيرة الحجم وقليلة العدد . فمن



الشكل (٢٢ - ٥١) : (١) - صورة البتيراندون *Pteranodon* ، من الزواحف الطائرة . (ب) - صورة طير الهيسبرونيس *Hesperornis* ، كلاهما من عصر الكريتاسي الأعلى ، من ولاية كانساس . (الصورة من المعهد السميشوني) .

الواضح انها كانت أقدر تكيفا مع الظروف الجديدة ومن ثم فقد حلت محل الداینصورات . وقد كانت الثدييات مجموعة ناجحة أكثر من الزواحف لأسباب عديدة . فلها أدمغة كبيرة ، وقلوب ذات أربعة حجرات بدلا من اثنتين كما في الزواحف ، وأجسام عليها شعر بدلا من الفلوس . وساعدها ذلك في الحفاظ على حرارة أجسامها بسبب قلة تكشفها للتغيرات المناخية . وكانت أقدر على الحفاظ على صغارها من الزواحف التي تضع البيض . وكانت أيضا قادرة على



الشكل (٢٢ - ٥٢) : زواحف بحرية . البليسيوصورص Plesiosaurs ذات
أعناق طويلة ، أما الأكتينوصورص Ichthyosaurs فقريبة الشبه من السمك وطولها (٦)
أقدام (رسم الصورة C. R. Knight ، المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

تطوير فكوكها وأسنانها لتناسب غذاءها . ومرت أقدامها بسلسلة من التغيرات
أيضا جعلتها أكثر ملائمة لبيئاتها . وبالرغم من جميع هذه الأسباب التي جعلت
الثدييات أكثر استعدادا من الداينصورات ، فإنها لم تطردها . وإنما ، لأسباب
غير معروفة ، فإن الداينصورات انقرضت وحلت محلها الثدييات .

تألف ثدييات أوائل الحقبة الحديثة من صنفين رئيسيين . الثدييات الكيسية
(٨٤) مثل الكنغر (٨٤) والأوبوسوم (٨٥) التي تحمل صغارها في كيس بطني
والثدييات المشيمية (٨٦) التي تحمل صغارها داخل أجسامها حتى تكتمل تماما .
ومن المحتمل أن الثدييات الكيسية قد هاجرت في الكريتاسي إلى أستراليا وأمريكا
الجنوبية ومن ثم عزلت . أما وجود الأحياء الكيسية في أستراليا فلأنها تطورت
تماما جميع الأفاق الأيكولوجية المتوفرة . وحدث هذا أيضا في أمريكا الجنوبية ،
إلا أن الثدييات الكيسية ، في معظم أجزائها ، أصبحت منقرضة عند نهاية
البليوسين (٨٧) لأنها لم تستطع منافسة الثدييات المشيمية التي هاجست
إليها . وتمكنت الثدييات المشيمية من الهجرة عن طريق مضيق بنما الذي تكون في
نلك الوقت (الشكل ٢٢-٥٣) . وقد كانت الثدييات المشيمية التي استقدمها

- 83. Marsupials
- 84. Kangaroo
- 85. Opossum

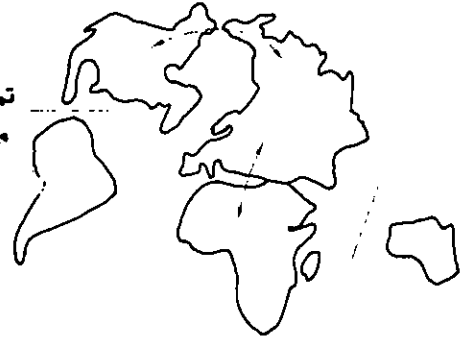
- 86. Placental
- 87. Pliocene



اعلى الباليوسين واسفل الايوسين (لم توجد اوازل
واواسط الباليوسين الا في أمريكا الشمالية)

الاوسين الاوسط

تمر القردة
من الحواجز



اعلى الايوسين

اوليجوسين



اسفل الميوسين

اواسط واعلى الميوسين



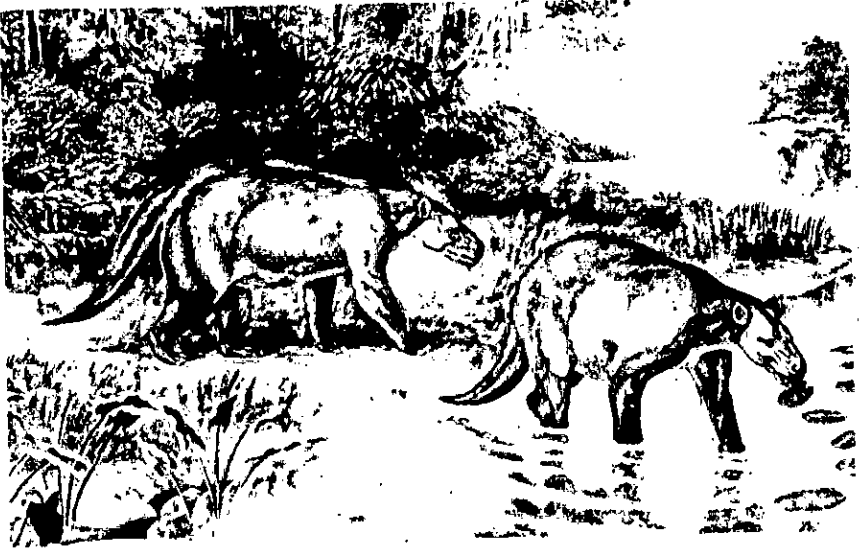
بليوسين

بلايستوسين . لقد كانت نهايات تتبادل التغير في وسط واعلى
البلايستوسين اما اوضح تغير فقد حصل في اسفل البلايستوسين

الشكل (٢٢ - ٥٢) : بين هجرة الفقاريات في حقبة الحياة الحديثة حيث تظهر فيه
طرق سير الهجرة والحواجز .

الانسان الى اوسترااليا ناجحة جدا في الاحلال محل الكيسيات البدائية ، بالرغم من انها خلقت عدة مشاكل ايكولوجية .

وسادت الثدييات المشيمية الحقبة الحديثة في أمريكا الشمالية . فقد تطورت من الحشرات الاولى في الحقبة الوسطى حيث نشأت منها عشرات من الفروع وكانت ثدييات الباليوسين (٨٨) حيوانات مهملة وصغيرة وسكنت الغابات . وقد وجدت القروء ، والقوارض (٨٩) ، والحشرات (٩٠) ، وآكلة اللحوم ، وآكلة الاغصان (الاوراق) (٩١) (الشكل ٢٢-٥٤) . وتميزت آكلة الاغصان بأنها قصيرة ولها اقدام ذات خمسة مخالب . واستمرت هذه المجموعات في الايوسين (٩٢) وظهرت عدة اصناف جديدة ، ضمت حيوانات الظللف (٩٣) او ذات الحوافر كالكركدن (٩٤) والحصان الاول (الشكلان ٢٢-٥٥ و ٢٢-٥٧) .



الشكل (٢٢ - ٥٤) : منظر من عصر الباليوسين حيث يظهر فيه حيوان الظلف باريلامبدا *Barylambda*، وله خمس اظلاف وطوله ثمانية اقدام . (رسم الصورة J. C. Hansen ، المتحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

- 88. Paleocene
- 89. Rodents
- 90. Insectivores
- 91. Browsers

- 92. Eocene
- 93. Hoofed
- 94. Rhinoceros

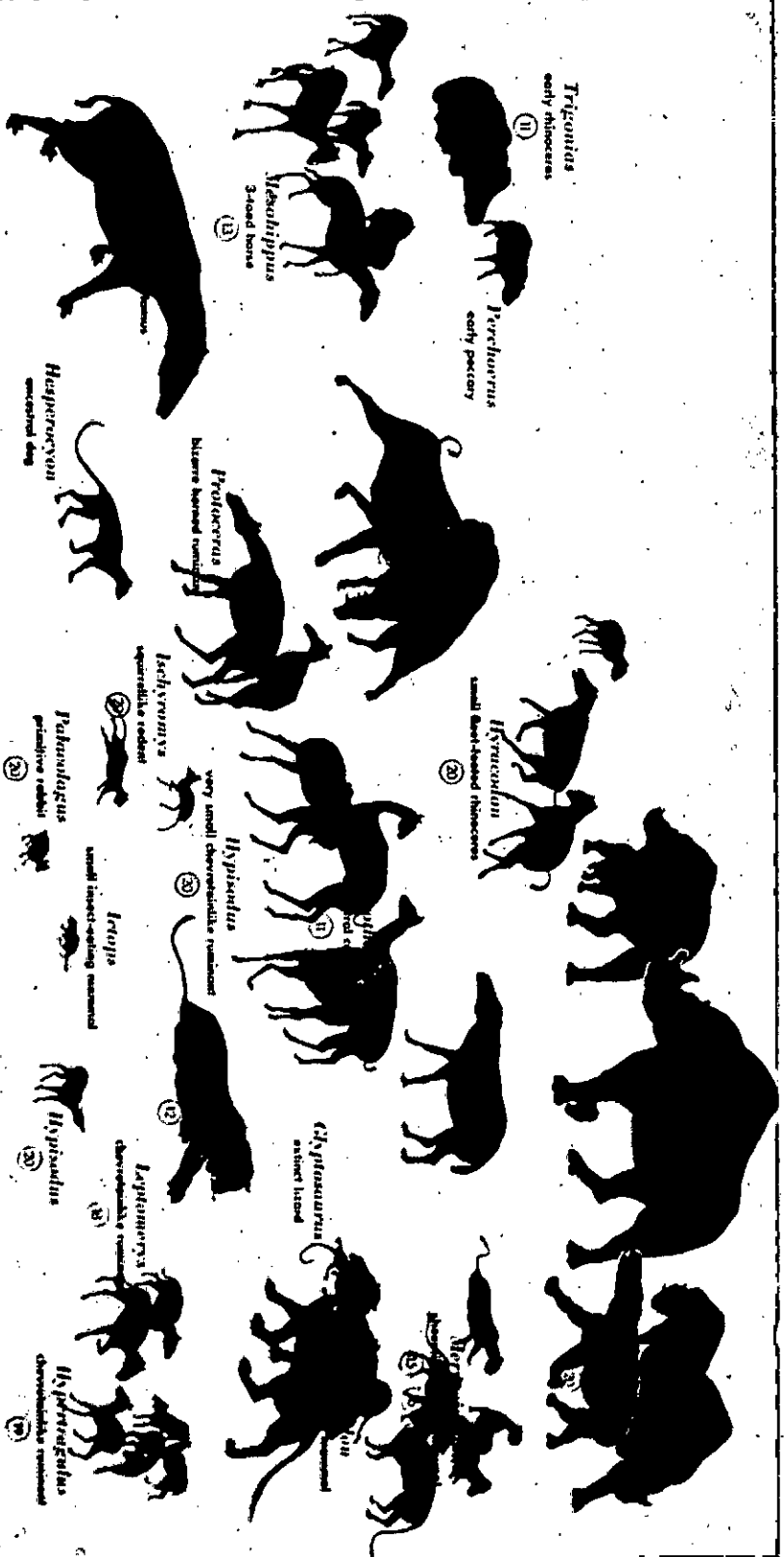




FIG. 22-55. (Part 2) Middle Eocene Bridger Formation of Wyoming. Although the plants and animals are reconstructed as accurately as possible, all of these creatures were probably never so close together. Painting by J. H. Matternes, Smithsonian Institution.



المتكامل (٢٢ - ٥٥) : سيق تهاج من الحيوانات التي وجدت في تكوين برينجر Bridger ، في عصر الميوسين الأوسط في منطقة أواميج . وبالرغم من موزي الدقة في اعاده تشكيل توزيع النباتات والحيوانات الا ان هذه الملاحظات لم تكن أبداً قديمة من بعضا البعض كما يبدو في الصورة . (رسم الصورة Maiternes J. H. ، من المهندسين) .



الشكل (٢٢ - ٥٦) : بين نتائج من الحيوانات التي وجدت في تكوين التهر الأبيض ، في منطقة جرب داكوتا ونبراسكا .
(رسم الصورة J. H. Maternes من المجلد السمينوني) .



الشكل (٢٢ - ٥٧) : خوت من عصر الايوسين ويسمى *Basilosaurus cetoides* وجد في منطقة الاباما ويمثل ثدييات الاسنان التي حلت سريعا محل زواحف حقب الحياة الوسطى البحرية حيث بلغ طول فكوكها ثلاثة اقدام .
(رسم الصورة C. R. Knight ، المنحف الميداني للتاريخ الطبيعي) .

وظهر الغزال ، والخنزير ، والجمال في اواخر الايوسين . اما مستحاثات الاوليجوسين (٩٥) فذات مظهر اكثر تطورا اذ اختفت الاشكال غير المهمة ، ربما لان المناخ صار اكثر جفافا ، وان هذا التغير قد ساعد في انتشار الحيوانات آكلة الاعشاب السريعة والطويلة السيقان ذات الظلف (الظلفية) . وظهرت في اثناء الاوليجوسين ايضا القطط والكلاب . اما حيوانات التيتانوثيرس (٩٦) التي بدأت في اوائل الايوسين كحيوانات صغيرة شبيهة بالكركدن فقد وصلت حجم الانبيال في الاوليجوسين ثم انقرضت (الشكل ٢٢-٥٦) فانتساع اليابسة الخضراء في الميوسين قد نشط فيها الخيول والخنازير ، والكركدن ، والجمال ، وابقار الوحش (٩٧) والغزلان كالمستodontات (٩٨) . وظهرت ايضا القطط الكبيرة والدببة ، وابن عرس (٩٩) (الشكل ٢٢-٥٨) . وقد برد المناخ في البلايوسين ، وبقي جافا نسبيا . وادى ذلك الى انتشار العشب الضار والى تخصص الاشكال المتبقية التي استمرت عبر البلايستوسين (١٠٠) لتنتج الاشكال الحالية (٢٢-٥٩) . فقد سادت الحيوانات الكبيرة في البلايستوسين في امريكا الشمالية ، كالمستodontات (تشبه الفيلة) والماموث والسلوث الارضي (١٠١) ، والقطط

- 95. Oligocene
- 96. Titanotheres
- 97. Antelopes
- 98. Mastodons

- 99. Weasels
- 100. Pleistocene
- 101. Ground Sloth



الشكل (٢٢ - ٥٨) : الجزء الاول .



الشكل (٢٢ - ٥٨) : الجزء الثاني : يبين نماذج من الحيوانات التي وجدت في تكوين هاريسون ، في عصر الميوسين الاسفل ، في منطقة غرب نبراسكا . (رسم الصورة J. H. Matternes ، المعهد السيشوني) .



الشكل (٢٢ - ٥٩) : الجزء الأول بين نضاج من حيوانات سهول المناطق المرتفعة في عصر البلايوسين الأوسط .



FIG. 22-59. (Part 2) Early Pliocene of the high plains region. Painting by J. H. Matternes, Smithsonian Institution.



الشكل (٢٢ - ٦٠) : منظر من منحدرات عصر البلايستوسين القطرانية بالقرب من
لوس انجلوس في كاليفورنيا ، يظهر فيها تجمعات من القطط ذات الاسنان الحادة وثعالب ينسور
تغذت على ما سقط من الحيوانات في القطران . (رسم الصورة C. R. Knight ، المتحف
الميداني للتاريخ الطبيعي) .



الشكل (٢٢ - ٦١) : من عصر البلايستوسين ، في منطقة باردة ، حيث ظهر فيه الماموت
والكركن المغطاة أجسامها بالصوف . (رسم الصورة C. R. Knight ، المتحف الميداني
للتاريخ الطبيعي) .

المتوحشة ، والقنادس ، والدببة الضخمة ، والخيول ، والجمال (الشكلان (٢٢ -
٦٠ و ٢٢ - ٦١) . وانقرضت جميعها من أمريكا الشمالية منذ (٨.٠٠٠ سنة ،
عندما تراجعت آخر المراحل الجليدية . أما مستحاثات سهول افريقيا الحالية
فتشبه تماما مستحاثات بلاد-توسين أمريكا الشمالية

تطور الانسان

لم يعرف الا القليل عن تطور الانسان ، اعظم الثدييات نجاحا . فاللبائن (١٠٢) التي تشبه الانسان تطورت على ما يبدو من القروود العليا (١٠٢) ، الا ان فقدان مستحاثاتها يحجب التفاصيل . ويعكس هذا النقص في المستحاثات جزئيا ذكاء هذه الحيوانات في تجنبها للموت المارض ، وهو جزئيا ينشأ من أن القروود العليا تطورت في بيئة انتقالية ضيقة بين اليابسة الخضراء والادغال أو الغابات المأهولة بلبائن اخرى . ومن المحتمل أن هذه البيئة استدعت تطوير ساقين للمشي ، وبالتالي حررت اليدين للامال الاخرى .

ان مستحاثات الانسان من اندر المستحاثات . وقد اطلقوا في الماضي على كل عظمة جديدة تكتشف (الهياكل الكاملة نادرة للغاية) اسما منفصلا لعدم الاتفاق على مكان المستحاثات الصحيح بالنسبة لتطور الانسان المعاصر . فعدم الاتفاق هذا ، جنبا الى جنب مع قلة المستحاثات ومشاكل دقة تأريخ الطبقات الحاوية لها ، قد سبب ارتباكاً كبيراً . ويبين الجدول (٢٢-٢) بعض اكثر الاكتشافات اهمية واحداثها تقسيماً .

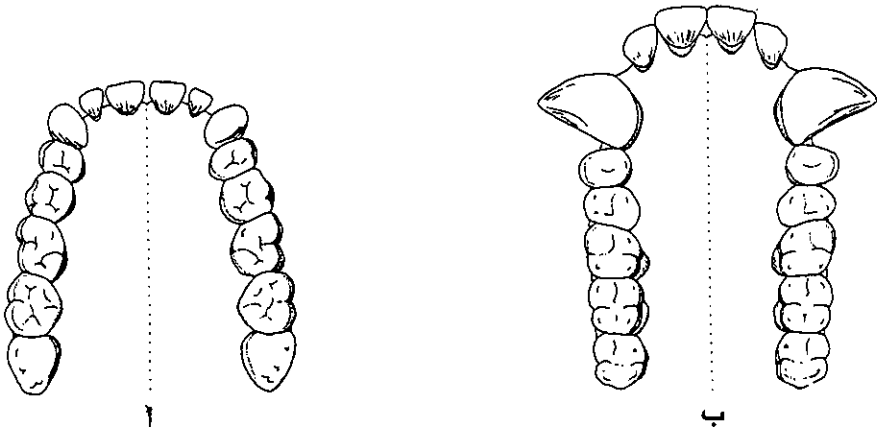
وقد حصل تقدم كبير في تفهم مستحاثات الانسان في السنوات الاخيرة . وساعد في هذا المضمار مكتشفات المستحاثات الحديثة ، واعادة تقسيم العديد من اسماء المستحاثات الى انواع قليلة .

لقد ظهرت اقدم القروود العليا في اوائل الاوليغوسين ، الا ان لبونات اخرى قد وجدت عبر الحقبة الحديثة . ويظهر أن القروود العليا قد تطورت بسرعة فائقة في الميوسين ، ونجد مستحاثاتها متفرقة في أوروبا ، وأفريقيا ، وآسيا ، مشيرة الى تنوعها اصنافاً متعددة . فاحداها ، الرامابييثكس ، التي وجدت (١٠٤) ، في الهند وأفريقيا تميزت بفكوك لها أسنان ، وتدل بوضوح أن فكوكها قريبة من الانسان اكثر من قربها للقروود العليا الاخرى ، وقد عاشت منذ (١٤) مليون سنة في اواخر الميوسين . وحديثاً ، اعيد تقييم اوائل المستحاثات المكتشفة سابقاً من اجل البحث عن اسلاف الرامابييثكس . وأشارت هذه الدراسات الى أن

الجدول (٢٢ - ٢) : بعض أهم مستحضات الإنسان المبكرة الظهور وتصنيفها.

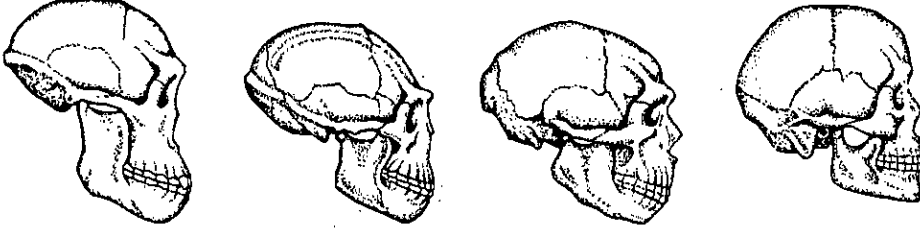
التاريخ	المكان	المستحضات	الاسم	التصنيف الحديث
١٨٤٨	جبل طارق	جمجمة	نيدرثال	هومو سابينز
١٨٥٦	ألمانيا	جمجمة وعظام أخرى	نيدرثال	هومو سابينز
١٨٦٨	فرنسا	خمسة هيكل غير مكتملة	كرو - ماجنون	هومو سابينز
١٨٩٤	جلاوا	أعلى الجمجمة ، أسنان وعظم الفك	بيكتاترويس	هومو إيركتس
١٩٠٧	هليلبرج	نكاح سفليان مع أسنان	هومو هايلبرجنسيس	هومو إيركتس
١٩٢١	جنوب إفريقيا	جمجمة طفل	استرالوثيكس	(الذي من انسان)
١٩٢٤	روديسيا	جمجمة	هومو روديسيانسيس	هومو إيركتس ؟
١٩٢٩	بكين	جمجمة وأفراس	بيكتاترويس	هومو إيركتس ؟
١٩٣١ -	جلاوا ، نهر بولو	عدة جماجم	هومو سولونسيس	هومو إيركتس ؟
١٩٣٢				

ما يشبه الانسان بفكه وسنه زيبا ظهر في كينيا منذ (٢٠) مليون سنة في الميوسين الاسفل (الشكل (٢٢-٦٢)) . ولم يكتشف حتى الان مستحاثات في صخور البلايوسين تدل على تطور الانسان . فالأسترالوبيثيكس (١٠٥) ، وهو الخطوة التالية المعروفة ، تظهر لأول مرة في كينيا في افريقيا ، في صخور قدر عمرها بـ (٢٥) مليون سنة . وهي عبارة عن مستحاثات لقطعة عظم من ذراع ما اكتشفت حديثا . ويظهر انه تطور بسرعة عبر المليون سنة اللاحقة . ولقد وجد الأسترالوبيثيكس مع حجر جيري خام ، وأدوات من العظام ، وبقايا عظام حيوانات تتدرج في الحجم ، مما يبدو انها من صيده . وكانت اوائل الأسترالوبيثيكس صغيرة ، ولكن سرعان ما تطورت الى مخلوق اكبر واكثر شبها بالانسان ، حتى انه سار منتصب القامة ، وهو أول من يفعل ذلك . وقد أدت الاكتشافات الاولى الى كثير من التشويش ، لانه وجد جنبا الى جنب مع البارانثروبس (١٠٦) الذي كان اكبر واكثر بدائية ، وكان نباتيا يسير منتصبا ، وقد وجد على ما يبدو في نفس الفترة الزمنية — حوالي مليون سنة — ثم اختفى . وقد وجد الأسترالوبيثيكس فقط في افريقيا ، علما بأنه قد وجدت مستحاثات في جاوا ويشك في انها منه .



الشكل (٢٢ - ٦٢) : يبين الاختلافات في الفك العلوي . (أ) لـ انسان الأسترالوبيثيكس و (ب) للموريل . *Australopithecus*

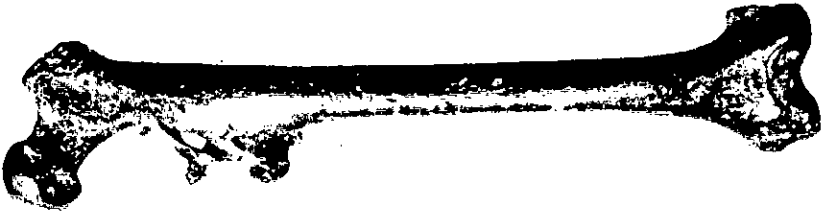
ويوجد في مضيق أولدوفيا ^(١٠٧) في تانزانيا سجل تتابع مماثل مكشوف يعود عمره الى (٢) مليون سنة . وقد أرخ بطريقة البوتاسيوم والارجون . فكشفت الطبقات السفلى والوسطى عن نشوء الاوسترالوبيثيكس فيها ، وعن



الشكل (٢٢ - ٦٣) : مقارنة بين جماع من انواع : (ا) - الاوسترالوبيثيكس ،
(ب) - الهوموايريكس، *Homo erectus* . (ج) - الهوموسابينز نيندرثال
Homo sapiens neanderthalensis . (د) - الهوموسابينز *Homo sapiens*

البارانثوبيكس البدائي المعاصر له في الطبقات الوسطى والعليا ، في حين وجد الهوموايريكس (١٠٨) في طبقة يرجع عمرها الى نصف مليون سنة (الشكل ٢٢ - ٦٣) . واكتشف حديثا صنف ظهر انه وسط ما بين الاوسترالوبيثيكس والهوموايريكس في طبقات يرجع عمرها الى مليون سنة ، وربما يشير هذا الى مرحلة انتقالية بينهما . واطلق على الصنف الاخير ، مؤقتا هوموهايبليز ^(١٠٩) ، وهو اقدم عضو معروف لجنس الهومو .

ووجد الهوموايريكس المنتصب في بداية البلايستوسين الاوسط منذ حوالي مليون الى ٥٠٠.٠٠٠ سنة . ومعظم مستحاثات الانسان التي ليست مستحاثات حديثة له قد تدرج حاليا ضمن هذا النوع . وتكون المستحاثات عموما مصحوبة ببعض الادوات الحجرية ، وتري بعض المكتشفات ادلة على استعمال النار . وتتكون الخصائص العامة التي تستخدم لتمييز الحيوان المنتصب من جمجمة كثيفة منبسطة ضيقة ، مع دماغ يبلغ معدل حجمه حوالي (١٠٠٠ سم) متوسط حجم دماغ الانسان المعاصر يبلغ ١٤٠٠ سم ، ودماغ الاوسترالوبيثيكس والغوريللا المعاصرة يبلغ ٥٠٠ سم) ، وجبهة بارزة الحواف ، وزاوية واضحة عند اتصال العظمة بمؤخرة الجمجمة ، وأسنان وفك اكبر وادنى تطورا من أسنان الانسان المعاصر . أما السيقان فقريبة من سيقان الانسان المعاصر خلاف سيقان الاوسترالوبيثيكس البدائية وان يكن منتصب القامة (الشكل ٢٢-٦٤) .



ب

الشكل (٢٢ - ٦٤) : يبين نماذج من المهرمو وايردكنس . (ا) - مستحاثات طبق الأصل ، وتتألف من أسنان ، وعظمة فخذ ، وغطاء جمجمة . (ب) - جمجمة أعاد ترميمها العالم فايدترايش Weidenreich . لاحظ كثافة وتنطح الجمجمة وامتدادات الحواجب والحافة الخلفية . فالتك له لحية متقلصة والاسنان على ما يبدو أولية . قارن ذلك بجمجمة الإنسان الحالي وذلك بتمرير الأصابع فوق وعلى جوانب الصفيين وعلى أعلى مؤخرة الجمجمة واللحية . (الصورة من المعهد السميثسوني) .

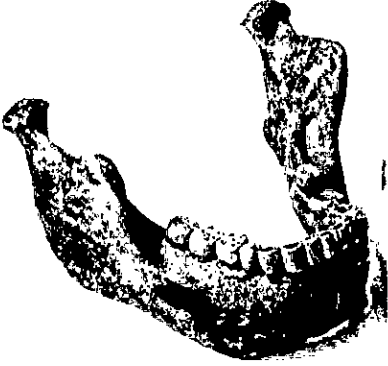
وأول وأقدم تحت النوع (١١٠) للهوموايريكتس وجد في جاوا ، والصين ، وجنوب وشرق أفريقيا . ثم وجدت مستحاثات الهوموايريكتس الحقيقية في هذه المناطق وفي الجزائر . وقد وجدت أدوات مماثلة لتلك المصاحبة لها في أوروبا ، إلا أنه لحد الآن لم يعثر على مستحاثات ، ما عدا فك وجد بالقرب من هايدلبيرج ، وقدر عمر هذا الفك في وسط المدى المتفق عليه للهوموايريكتس ، إلا أنه أقل بدائية من مستحاثات الهوموايريكتس العادية ، وأجزاء الجمجمة التي يمكن أن تعطي رأيا أكثر ايجابية بالنسبة للنوع غير موجودة ، ومن ثم فإن موضعه الحقيقي مشكوك فيه للغاية (الشكل ٢٢ - ٦٥) .

وبالرغم من أننا نقرب الآن من الإنسان المعاصر فإن السجل التاريخي لم يتضح بعد ، لأن هناك كثيرا من الشواذ في الصورة . وينسب الإنسان المعاصر الى نوع الهوموسابينز (١١١) . وأما السؤال فهو متى وأين ظهر ذلك للمرة الاولى ؟ ان الجواب ما زال غامضا . يظهر أن بعض المستحاثات تشير الى أن الهوموايريكتس والهوموسابينز ربما كانا متداخلين زمنيا لدرجة عظيمة ، أو ربما أن التقدم في تطور الهوموايريكتس تبين كثيرا بحيث تعدى مجاله الجغرافي الهائل ، متأثرا بالظروف المناخية المحلية وقيود الهجرة .

ان كسارات الجمجمة التي وجدت في نهر سولو في جاوا (ولذا يسمى صاحبها بانسان جاوا) هي بدائية المظهر ، وقريبة الشبه من هوموايريكتس لا من هوموسابينز ، وعلى كل حال ، فإن عمر مستحاثات سولو قد قدرت تقريبا بين (١٠٠.٠٠٠) و (٦٠.٠٠٠) سنة ، وذلك بعد وقت طويل من الاتفاق على الحد الاعلى لعمر الهوموايريكتس ، ومعاصرة لانسان الهوموسابينز نيندرثال في أوروبا . وقد نسبت بعض الجهات المسؤولة انسان سولو الى الهوموايريكتس اعتمادا على المظهر ، ونسبه اخرون الى احدى سلالات الهوموسابينز المنقرضة على مبدأ التاريخ . ولا توجد أية خيوط من الأدلة تؤدي الى سلالات معاصرة للهوموسابينز في الشرق الاقصى حتى تلقي الضوء على انسان سولو .

وهناك اكتشاف آخر ، وهو عبارة عن جمجمة وجدت في روديسيا (تسمى انسان روديسيا) وهو ما يزال موضع جدل أيضا . فهو أقل بدائية بكثير من انسان سولو ، إلا أنه ينسب اما الى الهوموايريكتس الاخير او الى سلالة منقرضة من الهوموسابينز . وقد عاش حديثا جدا منذ ٥٠.٠٠٠ الى ٣٠.٠٠٠ سنة ،

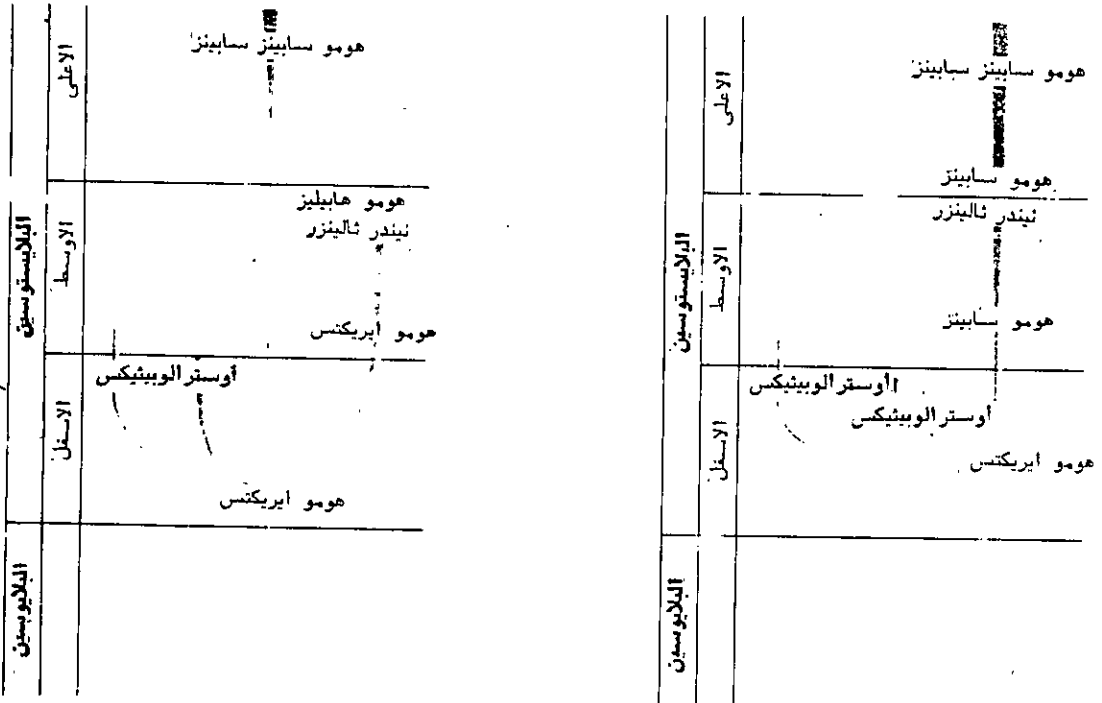
وكان معاصرا لانسان نيندرثال الاخير وربما لانسان كرو — ماجنون (١١٢) الاول .
وعلى النهاية الاخرى للمقياس ، اكتشف في عام (١٩٦٥) ، الجزء الخلفي
لجمجمة بمنطقة فيرترزوللوز في هنغاريا . فشكلها ، وتحديدها وحجم دماغها البالغ
(١٤٠٠) سم قد ادى الى تصنيفها ضمن الهوموسابينز ، الا ان عمرها البالغ



الشكل (٢٢ — ٦٥) : انسان هايدلبرج (هومو ايريكنس) : عرقة على أساس تركيب
الفك والذي تظهر له طبقة خارجية كمال (ا) . اما اعادة بناء الجمجمة والفكوك فيعزى الى
الى العالم ماكجريجور . McGregor كما هو الحال في (ب) . (الصورة من المعهد
السميثسوني) .

(٥٠٠٠ ر. ٥٠٠) سنة تقريبا ، اي في اوائل البلايستوسين الاوسط ، يصنفها ضمن مجال الهومو ايريكتس . ويظهر أن الجماجم الكثيرة والكاملة التي وجدت في عام (١٩٣٠) في سونزكومب ، بانجلترا ، وفي شتاينهايم ، بألمانيا ، تؤيد هذا الرأي . فهي احدث عمرا (يتراوح عمرها ما بين ٢٠٠.٠٠٠ — ٣٠٠.٠٠٠ سنة) ، ولها تحذب وحجم الهومو سابينز ومن ثم فقد صنفت قياسا عليه . وتحتوي مستحاثات شتاينهايم على وجه يظهر انه يشير الى جبهة ذات حواف انتقالية ما بين الهومو ايريكتس وانسان نندرثال الحديث . وربما كانت جمجمة فيرتيزوللوز من نسل فك هايديلبيرج الاولى المحير وسلفا (جدا) لمستحاثات سوانزكومب وشتاينهايم .

ويقع انسان نيندرثال نفسه بالقرب من حد البلايستوسين الاوسط والاعلى ، وهو يصنف حاليا على انه هومو سابينز . وقد وجدت بقايا كثيرة في أوروبا وحوض



ب

الشكل (٢٢ - ٦٦) : يبين احتمال التشابه المزدوجة للانسان . اذ ليس هناك أدلة كافية لاعادة بناء شجرة عائلة دقيقة للانسان (عدلت النظرية التي نقلت عن ظوياس Tobias من مجلة العلم ، ٧ حزيران ١٩٦٥ ، العدد رقم ١٢٩ وصفحات ٢١-٢٢)

البحر الابيض المتوسط ، يمتد تاريخها من (١٠٠.٠٠٠) سنة تقريبا وحتى (٣٥.٠٠٠) سنة . ويبدو أن انسان نيندرثال قد طرات عليه تغييرات هامة . فتلك التي سكنت غرب أوروبا ، من افضلها واولها ظهورا واكثرها تباينا من الانسان المعاصر في الاطراف وبشكل الجمجمة ، ويبدو أنها تطورت اكثر بمرور الزمن متباعدة عن الانسان الحالي ، بدلا من أن تقترب منه ، حتى اختفت . وهذا الانحسار الظاهر ربما يمثل ببساطة انعزال سلالة ما تكيفت مع ظروف مناخية قاسية . وتشير اكتشافات الشرق الاوسط الى تنوع عظيم والى امكانية وجود اشكال انتقالية بين تلك التي لها خصائص انسان غرب أوروبا وبين الكرو — ماجنون أقدم انسان معاصر بالمفهوم الدقيق . ويوجد هذا التباين حتى بين المستحاثات المترامية في المواقع المعزولة .

ان الانسان المعاصر نفسه قد ظهر منذ (٣٥.٠٠٠) سنة تقريبا ، بعد ان اضمحلت الاشكال القديمة . وانسان كرو — ماجنون درس أكثر من غيره ومعرفتنا عنه أكثر ويكاد لا يمكن تمييز بقايا عن الانسان المعاصر . وهو يظهر فجأة في أوروبا في طبقات لها تقريبا نفس عمر انسان نيندرثال الاخير ، الذي اختفى بعد ذلك . ويبدو أنه هاجر الى أوروبا ، ربما من الشرق الاوسط استنادا الى الاشكال الانتقالية التي وجدت فيه حديثا . وهناك مسألة هامة هي هل تطور انسان كرو — ماجنون من النيندرثال ، أم أنه قد تداخل معه أولا في الشرق الاوسط بعد أن تطور من أصل آخر . ويعتقد بأنه سلف للسلاسل الأوروبية المعاصرة . ولا نعرف شيئا عن الاسلاف الحديثة للسلاسل المعاصرة للانسان خارج أوروبا .

انه ليس ممكنا رسم شجرة عائلة الانسان من هذه القصة غير المتكاملة . ويرى الشكل (٢٢ — ٦٦) طريقتين محتملتين لنشأة الانسان .

أَسْئَلَة

- ٢٢ — ١ كيف يعتقد بنشوء الحياة على سطح الارض ؟ هل يمكن لهذه الطريقة أن
تقرر تطور اصناف الحياة الجديدة ؟
- ٢٢ — ٢ عدد الطرق التي تكونت بها المستحاثات .
- ٢٢ — ٣ عالج العلاقة بين التغير الجيولوجي ونشأة الانواع الجديدة .
- ٢٢ — ٤ اذكر بعض الاستيضاحات الممكنة لتعليل انقراض الانواع .
- ٢٢ — ٥ اذكر اصناف واعمار مستحاثات البريكمبري الموجودة حتى الان .
- ٢٢ — ٦ اذكر بعض الاستيضاحات عن الظهور المفاجيء للمستحاثات بكثرة في
قاعدة الكمبري .
- ٢٢ — ٧ ماهي اوائل الفقاريات ومتى بدأت بالظهور ؟
- ٢٢ — ٨ ماهو التأثير الذي تركه تطور الاسماك على اللافقاريات ؟
- ٢٢ — ٩ متى ظهرت اوائل النباتات الارضية ؟
- ٢٢ — ١٠ لم لا نعرف الا القليل عن نباتات ما قبل العصر الديفوني ؟
- ٢٢ — ١١ متى ظهرت البرمائيات لأول مرة ؟
- ٢٢ — ١٢ متى ظهرت الزواحف لأول مرة ؟
- ٢٢ — ١٣ ماهي الاختلافات بين الزواحف والبرمائيات ؟
- ٢٢ — ١٤ متى ظهرت الحشرات لأول مرة ؟

٢٢ — ١٥ ما هي مجموعات مستحاثات الحقبة القديمة التي لم توجد في الحقبة الوسطى ؟

٢٢ — ١٦ كيف تختلف مراجين الحقبة الوسطى عن مراجين الحقبة القديمة ؟

٢٢ — ١٧ كيف يمكن تمييز المحار عن المسرجيات ؟ وهل هذا التمييز يسري على جميع محارات الحقبة الوسطى ؟

٢٢ — ١٨ كيف تميز القواقع عن الراسقدييات ؟

٢٢ — ١٩ لخص تاريخ الراسقدييات .

٢٢ — ٢٠ كيف تختلف نباتات الحقبة الوسطى عن نباتات الحقبة القديمة ومن الحقبة الحديثة ؟

٢٢ — ٢١ متى عاشت الداينصورات ؟

٢٢ — ٢٢ صف اصناف الداينصورات المختلفة والزواحف الاخرى في الحقبة الوسطى وفي اي البيئات عاشت ؟

٢٢ — ٢٣ متى ظهرت اوائل الثدييات ؟ ومتى شاعت ؟

٢٢ — ٢٤ ماهي الفوائد التي كسبتها الثدييات من الزواحف ؟

٢٢ — ٢٥ ماهي انواع الثدييات الرئيسية ؟

٢٢ — ٢٦ وضح تطور المارسوبيلز وعلق على توزيعها في الوقت الحاضر .

٢٢ — ٢٧ صف التغييرات المناخية في الحقبة الحديثة وكيفية تأثير ذلك على تطور الثدييات .

٢٢ — ٢٨ ماهي المشاكل التي تنتظر الجيولوجي في المستقبل عندما يقارن المستحاثات الحالية مع مستحاثات أمريكا الشمالية ؟

٢٢ — ٢٩ لماذا يصعب تحديد تطور الانسان المعاصر (صف شجرة عائلة تطوره) ؟

٢٢ — ٣٠ متى واين ظهر الانسان لأول مرة ؟

٢٢ — ٣١ لماذا تسمى بعض الكائنات الحالية بالمستحاثات الحية ؟

٢٢ — ٣٢ اي مجموعات المستحاثات يمكن أن تكون مستحاثات دالة ؟

٢٢ — ٣٣ في اي اجزاء السلم الجيولوجي توجد افضل المستحاثات الدالة ؟ واقلهما ؟

مراجع اضافية

- Abelson, P. H., "Chemical Events on the Primitive Earth," *Proceedings of the National Academy of Sciences* (June, 1966), Vol. 55, No. 6, pp. 1365-1372.
- Barghoorn, E. S., "Origin of Life," in *Treatise on Marine Ecology and Paleocology*, Part 2 (H. S. Ladd, ed.), pp. 75-86. Geological Society of America, Memoir 67, 1957. This paper reprinted in J. F. White, (ed.), *Study of the Earth*, pp. 335-347. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1962 (paperback).
- Beerbower, J. R., *Search for the Past, An Introduction to Paleontology*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1960, 562 pp.
- Bramlette, M. N., "Massive Extinctions in Biota at the End of Mesozoic Time," *Science* (June 25, 1965), Vol. 148, No. 3678, pp. 1696-1699.
- Broom, Robert, "The Ape-Men," *Scientific American* (November, 1949), Vol. 181, No. 5, pp. 20-24. Reprint 832, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Brues, C. T., "Insects in Amber," *Scientific American* (November, 1951), Vol. 185, No. 5, pp. 56-61. Reprint 838, W. H. Freeman and Co. San Francisco.
- Cloud, P. E., Jr., "Significance of the Gunflint (Precambrian) Microflora," *Science* (April 2, 1965), Vol. 148, No. 3666, pp. 27-35.
- Colbert, E. H., "The Ancestors of Mammals," *Scientific American* (March, 1949), Vol. 180, No. 3, pp. 40-43. Reprint 806, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Collinson, C. W., *Guide for Beginning Fossil Hunters*. Illinois State Geological Survey, Education Series 4, 1959, 37 pp.
- Deevey, E. S., Jr., "Living Records of the Ice Age," *Scientific American* (May, 1949), Vol. 180, No. 5, pp. 48-51. Reprint 834, W. H. Freeman and Co., San Francisco.

- Dorf, Earling, "The Petrified Forests of Yellowstone Park," *Scientific American* (April, 1964), Vol. 210, No. 4, pp. 106-114.
- Ericson, D. B., and Goesta Wollin, "Micropaleontology," *Scientific American* (July, 1962), Vol. 207, No. 1, pp. 96-106.
- Glaessner, M. F., "Pre-Cambrian Animals," *Scientific American* (March, 1961), Vol. 204, No. 3, pp. 72-78. Reprint 837, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Howell, F. C., *Early Man*. New York: Life Nature Library, Time, Inc., 1965, 200 pp.
- Howells, W. F., "Homo Erectus," *Scientific American* (November, 1966), Vol. 215, No. 5, pp. 46-53.
- Keosian, John, *The Origin of Life*. New York: Reinhold Publishing Corp., 1964, 118 pp. (paperback).
- Mathews, W. H., *Fossils, An Introduction to Prehistoric Life*. New York: Barnes and Noble, 1962, 337 pp. (paperback).
- Newell, N. D., "Crises in the History of Life," *Scientific American* (February, 1963), Vol. 208, No. 2, pp. 76-92. Reprint 867, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Romer, A. S., *Man and the Vertebrates*, Vols. I and II. Baltimore: Penguin Books, Inc., 1954, 437 pp. (paperback).
- Simpson, G. C., *Life of the Past*. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1961, 198 pp. (paperback).
- Stirton, R. A., *Time, Life, and Man*. New York: Science Editions, 1959, 558 pp. (paperback).
- Wald, George, "The Origin of Life," *Scientific American* (August, 1954), Vol. 191, No. 2, pp. 44-53.

Glossary

قاموس

المصطلحات الواردة في هذا الكتاب ورموزها

A

Abrasion	بري
Active Faults	صدوع نشيطة
Adamantine	ماسي
Aerodynamic	الديناميكية الجوية
Agate	عقيق
Agents of Metamorphism	عوامل التحول
Alkaline	قلوية
Alluvial Fans	المراوح الطمية
Amorphous	غير مبلورة
Amphibole	امفيبول
Amphibolite Schist	امفيبول شيست
Amphibian	برمائي
amu	وحدة الكتلة الذرية
Ancestor	سلف
Andesite	انسيزايت
Angiosperm	نبات بذري
Angular	زاوي
Anthracite	انثراسايت (فحم حجري)
Anticlinorium	تحذب مركب
Apatite	اباتايت
Apes	قرود عليا
Arctic Ocean	المحيط المتجمد الشمالي
Arid Climate	مناخ مجذب

Artesian	ارتوازي
Arthropods	مفصليات
Asbestos	اسبست
Assymmetry	غير متناظر
Asteroids	كويكبات
Atomic Fusion	الانصهار الذري
Astrogelogy	الجيولوجيا الفلكية
Astronomical	فلكي
Atmoic Mass Number	عدد الكتلة الذرية
Atomic Structure	البنية الذرية
Augite	اوجايت
Aurora	هالة
Avalanche	انهيار

B

Baked Rocks	الصخور المحروقة
Ballistic	منجنيق عابر للفضاء
Bar	حاجز
Barrier Island	جزيرة حاجزة
Barrier	حاجز
Base Level	المستوى الأدنى
Beach	بلاج
Beavers	قنادس
Bed	طبقة، راقعة
Bedding	تطبق
Belt	حزام، نطاق
Berch	شرفة
Bituminous Coal	الفحم البتيوميني
Biotite	بيوتايت (مايكا سوداء)
Blastoids	برعميات
Blocky Lava	لابا متكتلة
Blow Out	منخفض
Bobs	يتخبط
Bomb	قنبلة
Bonding	ترابط
Boulder	جلمود

Browsers	اكلة الاغصان
Braided Streams	الانهار المتشعبة
Branching Ratio	نسبة التشعب
Bright	ساطع
Bryozoa	اوليات
Building Blocks	وحدة البناء
Burrow	تحفر (يفعل الكائنات)

C

Calcareous	جيرى (كلسي)
Calcite	كالكسايت
Calderas	كالديرا
Caliche	كاليشة
Cambrian	كامبري (كامبري)
Campanian	كمباني
Carbonation	التفحم (التكرين)
Carboniferous	كربوني
Cast	قالب خارجي
Catalyst	عامل وسيط
Catchment Area	منطقة الرصد
Canyon	اخدود
Caverneous	منحرب، كهيفي، منحور
Cementation	سمنته
Cent	سنت (عملة أمريكية)
Cephalopoda	راسقدميات
Chalcedony	كالسيدوني
Chalcopryrite	الكوپرايت
Chalk	طباشير
Chemical Weathering	التجوية الكيماوية
Chert	صوان
Chlorite	كلورايت (مايكا خضراء)
Cinder	رماد (سندر)
Cinder Cones	مخروط الرماد البركاني
Cinnabar	سنابار
Cirque	سيرك

Clam	محار
Clastic	فتاتي، حطامي
Clastic Sediments	رواسب فتاتية (حطامية)
Classification	التصنيف
Clay	صلصال
Cleavage	تشقق، انقسام
Cliff	جرف
Coarse-grained	خشنة الحبات
Coastline	خط الساحل
Cobbles	حصباء كبيرة
Color	لون
Colloidal	غروي
Comets	مذنبات
Compaction	رص (تراص)
Composite Volcanoes	براكين مركبة
Composition	تركيب كيمياوي
Concordant	متوافقة
Concoidal	محاري
Configuration	تشكيل
Conglomerate	كونجلو ميرات
Coniacian	كونياسي
Conifer	اشجار مخروطية
Consolidate	تماسك
Contact	سطح التماس
Contact Metamorphic Deposits	رواسب متحولة بالتماس
Contemporaneity	التزامن
Continental Crust	القشرة الارضية
Continental Drift	الازاحة القارية، الانسياج القاري
Continental Glaciers	الجليدات القارية
Continental Shelf	الرف القاري
Continuous Series	سلسلة متصلة
Continental Slopes	منحدرات قارية
Convection	حمل
Coprolites	براز
Coquina	كوكينا
Coral	مرجان

Corandum	كوراندم
Core	لب، مركز، نواة
Correlation	مضاهاه، مقارنة
Cosmic	كوني
Cosmic Rays	اشعة كونية
Covalent Bond	رابطة مشتركة
Crater	فوهة بركانية
Crater Lake	بحيرة بركانية
Crayfish	سرطان الماء العذب
Crinoids	زنبقيات
Crystallization	التبلور
Crystal	بلورة
Crystal Defect	تشويه بلوري
Crystal Form	شكل بلوري
Crystal Lattice	شبكة بلورية
Crystalline	بلوري
Crystal Setting	ترسيب بلوري
Crystal System	نظام بلوري
Cycad	اشجار صنوبرية
Cystoids	كيسيات

D

Deep Ocean Deposits	رواسب إعماق المحيط
Debris	حطام صخري
Debris Slide	انزلاق ركامي
Decay	انحلال
Deflation	تذرية
Deflected	ينحرف
Deformation	تشويه
Density	الكثافة
Deposition	توضع، ترسيب
Deposits	راسب
Desaggregation	تفكك
Desalination	تحلية
Desintigration	تفتت

Detergents	منظفات
Devonian	ديفوني
Diamond	ماسي
Diatoms	ديياتومات
Dike (Dyke)	قاطع عمودي
Dike Swarm	شبكة قواطع
Dimension	بعد
Discontinuous Series	سلسلة متقطعة
Discordant	غير متوافق
Diorite	ديورايت
Disseminated Magmatic Deposits	رواسب الماجما المبتثرة فيها
Dissipitate	تشتتت
Divide	خط الانفصال
Dolomite	دولوميت
Dome Volcanoes	براكين مقببة
Double Refraction	انكسار مزدوج
Drag	سحب
Drainage Basin	حوض تصريف
Drainage Pattern	نظام الصرف
Downslope Movement	الحركة على المنحدر
Drumlins	السنامات
Dull	معتم
Dunite	دوناييت
Dust	غبار
Dust Deposits	رواسب ترابية
Dynamic Metamorphic	تحول ديناميكي

E

Earth Flow	زحف ترابي، انسياب ترابي
Earth Magnetic Field	المجال المغناطيسي الارضي
Earthy (Luster)	ترابي
Eclipse	خسوف
Effervescence	فوران
Elastic Deformation	التشويه المرن (اللدن)
Elastic Rebound Theory	نظرية الارتداد المرن
Electromagnetic	امواج كهربائية مغناطيسية

Electron Capture	اصطياد الالكترون
Electron Microprobe	المسبار الالكتروميجهري
Elliptical	بيضاوي، اهليجي
Emanation	انبعاثات
Embayments	خلجان صغيرة
Emergent	بارز
Emplacement	توضع
Emplacement of Batholiths	توضع الباثوليت
Energy Resources	موارد الطاقة
Eocene	ايوسين
Equator	خط الاستواء
Era	حقبة
Erosion	حت
Erratic	ضالة (شاذة)
Eruptions	اندفاعات
Escaping	المحاليل الفارة
Esker	اسكار (رأس طويلة متعرجة)
Estuaries	مصبات نهريّة
Evaporites	تبخرات
Even	مستوي
Excavation	تجويّف
Exhaustability	قابلية الاستهلاك
Extrusive	(صخر ناري) سطحي
Extrusive Rocks	صخور سطحية
Extrusion	سطحي

F

Fathom	قامه
Fault	فالق، صدع
Fault Gauge	طين الفوالق
Fauna	فونا او مستحاثي حيواني
Features of Sedimentary Rocks	ملامح الصخور الرسوبيه
Feeder	جدول رافد
Feldspar	فلسبار (صفاح)
Felsite	فلسايت
Ferns	سرخسيات

Ferromagnesian	الحديدية المغنيسية
Fibrous	خيطي
Fiction	تصورات
Fissility	تشطر
Fistion	التحام
Flaurite	فلورايت
Flint	صوان
Flow	انسياى، جريان
Flood Basalt	سهول بازلتية
Fluorescence	تفلور
Fluvial	نهرى
Foliated	متورق
Foot Wall	حائط الفالق السفلي
Foraminifera	منخريات
Form (Crystal)	شكل بلورى
Formation	تكوين
Fossil Fuel	"وقود قديم" الوقود المستحاثي
Fossil Index	مستحاثه داله او مرشده
Fossil Record	سجل مستحاثي
Fossilized	استحاثه
Fossils	مستحاثات
Fracture	مكسر
Fracture Zone	نطاق الكسور
Fragmentary	فتاتي، حطامي
Frequency	تردد
Frost Heaving	الصعود الصقيعي
Fusion	انصهار

G

Gabro	جابرو (غابرو)
Galena	جالينا
Garnet	جارنت
Genus	جنس
Geochemists	جيوكيمياويون
Geode	جيود
Geologic Time	السلم الجيولوجي

Geosyncline	تقعر جيولوجي
Genesis	منشأ ، تكوين
Genetic	منشأ، تكويني
Geothermal Energy	الطاقة الحرارية الارضية
Geyser	فؤارة ساخنة
Ginkoes	اشجار صنوبريه
Glacial Outwash	رسوبيات الجليدية الذائبة
Glacier	جليدية
Graded River	نهر مدرج
Ground Water	مياه جوفية
Group	مجموعة

H

Habit	شكل المعدن (في العادة)
Hackly	مسنن
Half-life	نصف الحياة
Halite	هالايت
Halo	هاله
Hardness	قساوة
Hanging Wall	حائط الفالق العلوي
Hard Water	ماء عسر
Headlands	رؤوس بحرية
Heat Flow	التسرب الحراري
Hematite	هيماتايت
Hibernation	استكنان
Holocene	حديث (هولوسين)
Homogenous	متجانس
Hoof	ظلف
Hornfels	هورنفلز
Horsetail	نبات الاسوخ
Humus	دبال
Hydration	تميه
Hydrodynamics	حركة السوائل
Hydrothermal	ماثي حراري
Hydrothermal Deposits	رواسب المياه الحارة

I

Igneous	ناري
Impact	رطم
Impart	اعطاء
Impermeable	غير منفذ
Impurity	شائبه
Infra-red	تحت الحمراء
Insectivores	اكله حشرات
Interlocking Texture	البنية المتشابكة
Intergrowth	نمو متداخل
Internal Processes	العمليات الباطنية
Interstitial	خلالي، بيني
Intrusive	جوفي
Intrusive rocks	صخور جوفيه
Invertebrates	لافقاريات
Ionic Bonding	رابطة ايونية
Ionization	تأين
Island Arcs	الجزر القوسية
Isotopes	نظائر
Isometric	متساوي الطول

J

Jasper	يشب
Jet Piercing	الحفر النفث
Jurassic	جوارسي
Jupiter	المشتري

K

Kiln	فرن
Kinetic Energy	الطاقة الحركية
Knob	تله صغيرة او عقدة

L

Laccolith	كتلة جرسية
Lacustrine	بحيري
Land Form	اشكال الارض
Land Slide	انزلاق ارضي
Laminae	رقائق طبقية
Late Magmatic Deposits	رواسب الماجما المتأخرة
Lateral Fault	فالق جانبي
Laterite	لاترايت
Lava	لابا
Lava Flows	انسيابات اللابا
Leaching	الغسل
Levees	رواسب نهريّة
Lichen	اشنه
Light Color	لون فاتح
Lignite	لجنائيت (فحم حجري)
Limestone	حجر جيرى (كلسي)
Limonite	ليمونايت
Liner	خطي
Lithification	تحجر، تصخر
Lizard	سحلية
Luminous Dial Watch	قرص ساعة مضي
Lung-fish	اسماك رئوية
Luster	بريق

M

Maestrichtian	ماستريختي
Magma	الماجما
Magnetite	ماغنيتايت
Mammals	ثدييات
Manganese Nodules	عقيدات المنجنيز
Marble	رخام
Marine	بحري
Marl	مارل

Mars	المريخ
Massive	كتلي
Matrix	أرضية
Massive Down Slope Movement	الانجرافات الضخمة
Mantle	الستار الأرضي
Meanders	الأنهار المنعطفة
Mechanical Weathering	التجوية الكيميائية
Member	عضو
Mercury	عطارد
Metal	فلز
Metallic Bond	رابطة فلزية
Metamorphic Grade	درجة التحول
Metamorphic Rock	صخور متحولة
Metaquartzite	ميتاكوارتزيت
Meteorology	علم الأرصاد
Meteors	نيازك، شهب
Mica	مايكا
Microfossils	مستحاثات دقيقة (مجهرية)
Microprobe	مسبار مجهري
Microtektite	التكتيت الدقيق
Minerals	معدن
Mineral Resources	الموارد المعدنية
Mold	قالب داخلي
Momentum	زخم
Monocline	وحيد الميل
Moraines	مورينات
Mosaic	فسيفسائي
Mountain Glaciers	جليدات الجبال
Mud	طين
Mud Flows	تدفقات طينية
Mud Slides	انزلاقات طينية
Mudstone	حجر طيني
Mummified	مومياء، تحنط
Muscovite	مسكوفاييت مايكا بيضاء
Mylonite	ميلوناييت

N

Nappe	الصخور المغتربة
Native Elements	(المعادن العنصرية) العناصر الطبيعية
Natural	طبيعي
Nautiloids	نوتيلويدا
Nautilus	رباعية الخياشيم
Nebula	السديم
Neptune	نبتون
Neptunium	نبتونية
Neutrino	نيوترينو
Niches	مشكاه، كوه
Non-clastic Rocks	الصخور غير الحطامية
Non-foliated Metamorphic Rocks	صخور متحولة غير متورقة
Non-metallic	لا فلزي
Nodules	عقد
Nuclei	نوي (جمع نواه)
Nucleus	نواه

O

Observations	ملاحظات
Obsidian	أبسيديان
Oceanic Crust	القشرة المحيطية
Oceanography	علم البحار
Offshore	(بحري) بعد الشاطئ
Oligocene	اوليجوسين
Olivine	اوليفين
Onshore	على الشاطئ
Optical Microscope	المجهر البصري
Orbit	مدار
Ordovician	اوردوفيشي
Orogeny	الحركة البانية للجبال
Orthoclase	اورتوكلاز
Overburden	ركام، غطاء
Overthrust	فالق دفع علوي

Outwash
Ox-bow Lakes

رسوبيات الذوبان (الجليدي)
البحيرات المقوسة

P

Packing
Paleocene
Paleogeography
Paleozoic Era
Parabolic
Parent Rock
Particles
Pearly
Peat
Pebbles
Pedalfer
Pediment
Pedocals
Pegmatites
Peneplaine
Perched Watertable
Perculation
Perennial
Peridotite
Permeability
Permian
Perthite
Petrification
Phasant
Physical Geology
Pillow Lava
Placental
Placer
Placer Deposits
Plaecistocene Age
Plagioclase
Plagioclase Feldspar

تراص، رص
بالويسين
الجغرافيا القديمة
حقب الحياة القديمة
اهليجي
صخور اصلية
جسيمات
لؤلؤي
الخث (فحم حجري)
حصباء صغيرة
تربة حديدية الومينية بدلفرية
بيدمنت
تربة كلسية
بجماتايت
تسويه
مستوى المياه المعلق
تخلل
نهر دائم الجريان
بريدوتايت.
نفاذية
بيرمي
بيرثايت
تصخر
ديك بري
جيولوجيا فيزيائية.
اللابا الوسادية
مشيمه
تبر
رواسب تبر
العصر البلايستوسيني
بلاجيوكلاز
الصفاح البلاجيو كلازي

Planktonic	الاحياء الهائمة، بلانكتونات
Plane of Saturation	مستوى التشبع
Planets	كواكب
Planetology	علم الكواكب
Plasticity	لدونه
Plateau	هضبة
Pleistocene	بلايستوسين
Pliocene	بلايوسين
Pluto	بلوتو
Pluton	بلوتون
Pod	عصيات
Pole	قطب
Pollution	تلوث
Polygons	المضلعات الحجرية
Polymorph	متعدد الاشكال
Porphyry	بورفيري
Porphyritic	صخور بورفيرية
Porphyritic Basalt	بازلت بورفيري
Porphyritic Texture	نسيج بورفيري
Potassium Plagioclase	الصفاح البوتاسي
Potholes	الفجوات الدوامية، الحفر المائية
Primates	لبائن
Probe	مسبار
Pumice	حجر الخفاف
Pyrite	بايرايت
Pyroxene	بايروكسين
Pyroclastic Rocks	صخور حطامية نارية

Q

Quartz	مرو، ظر، كوارتز

R

Radiation	اشعاع

Radiation Belt	حزام اشعاعي
Radioactive	نشاط اشعاعي
Radioactive Dating	التأريخ بالنشاط الاشعاعي
Radiolaria	راديولاريا
Randum	عشوائي
Rarefication	تخلخل
Rate of Change	سرعة التحويلات
Recharge	تغذية
Recent	الحديث
Recrystallization	اعادة التبلور
Replacement	احلال او استبدال
Reservoir	خزان
Reservoir Rock	صخور خزانية
Residual	متبقي
Resinous	صمغي
Resistant Layer	طبقة صلبة (قاسية)
Resources	موارد
Retrogressive	التحول التراجعي
Ridge	ظهر
Riffles	مرتفعات قاع النهر
Rift	انهدام
Rills	جداول، قنوات مائية
Rip	شق
River Load	حمولة النهر
River System	النظام النهري
Rock Cycle	الدورة الصخرية
Rock Fall	الانهيار الصخري، السقوط الصخري
Rock Flour	مسحوق الصخر
Rock-forming Minerals	المعادن المكونة للصخر
Rock	صخري
Rock Salt	ملح صخر
Rodent	قارض
Rolling	يتدحرج
Rotational	دوران
Rugged	وعر
Run Off	المياه الجارية

S

Sand Levees	الجبور الرملية
Santonian	سانتوني
Satellites	قميرات
Saturn	زحل
Saturation	تشبع
Savanna	سافانا
Scarp	جدار
Schist	شيست
Scoria	الصخر ذو الفقاعات (سكوريا)
Scorpion	عقرب
Scratch	يخدش
Sedimentary Rock	صخر رسوبي
Seismic	اهتزازي
Seismic Properties	الخواص الاهتزازية
Semiarid	شبه جاف
Semischist	شبه الشيست
Serpentine	سرينتين
Series	نسق
Shale	غضار
Shallow Earthquake	الزلازل القريبه من السطح
Shatter	ممزق
Shear	قص، انفصام
Shear Waves	الامواج المستعرضه
Shell	صدفه، مدار، غلاف
Shield Volcanoes	براكين الدروع
Shoreline	خط الشاطيء
Sill	قاطع افقي
Silky	حريرى
Silliminite	سيلمينيت
Silt	غرين
Siltstone	حجر غرين
Silurian	سيلوري
Simulate	تصنيع
Slump	انهيار
Snails	قواقع

Snout	مقدمه
Soapstone	حجر الصابون
Sodic	صودي
Soils	تربه
Solarflare	الالقي الشمسي
Solar Syster.	النظام الشمسي
Solifluction	تدفق التربة الجليديه
Solubility	الذويان
Source Rock	صخر مصدري
Space Craft	مركبه فضائية
Space Probe	مسبار الفضاء
Species	نوع
Specific Gravity	الكثافة النسبية
Spectrum	طيف
Spin	يدور
Splintery	مدبب
Sponge	اسفنج
Spot Chemical Tests	تحليلات موضعية كيمياوية
Spotted Rocks	صخور منقطه
Stable	مستقر
Stage	مرحلة
Slate	اردواز
Star	نجم
Stipple	تنقيط
Stocks	ستوكات (جمع ستوك)
Stony Meteorite	نيزك حجري
Storm	عاصفه
Strain	انفعال
Stratum	طبقة
Streak	مخدش
Streak Plate	لوح المخدش
Stream Piracy	القرصنة النهرية
Stress	اجهاد، ضغط موجه
Strike-slip	الازاحة في اتجاه المضرب
Striations	حزوز سطحيه
Structure	بنية، تركيب
Subgraywacke	تحت جريواكي

Submarine Canyons
Submarine Mountains
Submergent
Submetallic
Subspecies
Sulfur
Surface Tension
Surf-cutbench
Surf-zone
Super
Super Cooled
Supernova
Swamp
Swarm
Symmetry
System

اخاديد نحت بحرية
الجبال البحرية
مغموره
تحت فلزي
تحت نوع
كبريت
توتر سطحي
شرفات الامواج
نطاق السيرف
فوق
فوق مبرد
نجوم متفجرة
مستنقع
تجمعات، اسراب، حشود
تناظر
نظام

T

Tabular
Talc
Talc Schist
Talus
Tarnished
Tension Fault
Terraces
Terrains
Terrestrial
Tetrahedron
Texture
Thrust Fault
Tidal Currents
Tidal Drag
Tidal Waves
Tiltmeter
Time
Time Lines

مسطحه
تالك
تالك شيست
حطام السفح الانهيارى
السطح الصدي
فالق الشد
مصاطب، شرفات
تضاريس طبيعيه
ارضى
رباعى الوجوه
نسيج، بنىه
فالق مدفوع
تيارات المد والجزر
الجر الجزري
امواج المد
جهاز الميل
زمن
خطوط زمنية

Topaz	توباز
Topography	طبوغرافيه
Tourmaline	تورمالين
Trail	ذنب
Trajectory	مقذوف
Transient	لحظي
Trap	مصيده
Triggering	لحظه الانطلاق
Triassic	ترياسي
Trilobite	تريلوبايت
Tuff	طفه
Tuff-breccia	بريشيا طفية
Turbidity	العكر
Turbidity Currents	تيارات العكر
Turbulence	هيجان، اضطراب
Turonian	توروني
Type	نوع
Type of Metamorphism	انواع التحول

U

Ultraviolet Radiation	الاشعه فوق البنفسجية
Unconfirmity	عدم توافق
Underthrust	فالق دفع سفلي
Underground Reservoir	خزان في جوف الارض
Under Tow Currents	تيارات الجر التحتيه
Uniformitarianism	النسقيه
Unique	فريد
Unweathered	غير مجواه
Uplift	مرتفع
Upstream	اعلى النهر
Uranus	اورانوس
Urbanization	استعمير

V

Varred Clay	صلصال رقائقي
Ventifacts	الحص الريحيه
Venus	الزهرة
Vertical Faults	فالق عامودي
Vertebrates	الفقاريات
Viscosity	اللزوجه
Vitreous	زجاجي
Volatile	ماده طياره
Volcanic Bombs	قنابل بركانيه
Volcanic Breccia	بريشيا بركانيه
Volcanic Cinder	سندر بركاني
Volcanic Conglomerates	كونجلوميرات بركانيه
Volcanoe	بركان

W

Wave-cut	القطع الموجي
Wave-cut Terreces	المصاطب المقطوعه بالامواج
Warping	انحناء
Water Table	منسوب الماء
Waxy	شمعي
Weak Layer	طبقة ضعيفه
Weathering	التجويه
Weathering Processes	عمليات التجويه
Welded Tuff	الطفه الملتحمه
Wind Erosion	الحت الريحي
Wrench	الفالق الملوي

Z

Zone	نطاق